

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ТЕХНОЛОГІЇ  
ТА  
ІНЖИНІРИНГ**

**№ 4(15), 2023**

**DOI:10.30857/2786-5371.2023.4**

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

*Київ 2023*

**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).

**№ 4(15), 2023**

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](mailto:vistnuk@knu.edu.ua); <http://vistnyk.knu.edu.ua/>

**Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 2 від 27.09.2023 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 4(15), 2023**

**DOI:10.30857/2786-5371.2023.4**

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

*Kyiv 2023*

**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).

*№ 4(15), 2023*

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](mailto:vistnuk@knuvd.edu.ua); <http://vistnyk.knuvd.edu.ua/>

---

**Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 2, originating date 27.09.2023.**

---

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: 0000-0001-7572-4757.  
**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, доцент, 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», 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.

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

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

**Суходуб** Ірина Олегівна – кандидат технічних наук, 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, Ira, 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), Karlsruhe. 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 Євгенівна – 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.

**Березенко** Сергій Миколайович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*, ORCID: 0000-0002-1042-6369.

**Арабулі** Світлана Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, 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, Люберецький 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, доцент, 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 хімічних 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.

**Андреева** 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.

**Будаш** Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0001-8718-1577.

**Галстян** Андрій Генрійович, доктор хімічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0001-8475-8166

**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.

**Кривонос** Олена Олександрівна – відповідальний секретар.

## **ЗМІСТ**

### **ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕЛЕКТРОНІКА, МЕХАНІЧНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ**

1. **ГОЛІНКО В. В., НЕДОСНОВАНИЙ О. Ю.**  
Автоматизація обробки геоінформаційних даних технологією нейромережі 9
2. **ДЕРМАН В. А., СУКАЛО М. Л.**  
Методика обґрунтування необхідної кількості засобів моніторингу довкілля та оптимізації місць їх розташування 17
3. **ПАВЛЮЧЕНКО В. А., МАКАРЕНКО В. В.**  
Аналіз можливості застосування технології wi-fi у транспортній мережі для підвищення безпеки руху транспорту та пішоходів 28
4. **РУБАНКА М. М., КОВАЛЬОВ Ю. А., РУБАНКА А. І.**  
Інноваційні технології при виготовленні швейних виробів: обладнання підготовчого цеху 38
5. **ШВЕДЧИКОВА І. О., ПІСОЦЬКИЙ А. В.**  
Попередня оцінка ефективності функціонування гібридної вітро-сонячної системи для забезпечення власних потреб локального споживача 53
6. **ШИШКОВА К. А., КОЗАК А. В.**  
Направлені властивості кругового циліндричного п'єзокерамічного перетворювача з плоским екраном в діаметральній площині 65

### **МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ**

7. **АРАБУЛІ А., БАЙЗІК В., КИЗИМЧУК О.**  
Ефективність електромагнітного екранування гібридних трикотажних полотен зі сталевим дротом 77

### **ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

8. **МАКЄЄВА І. С., СМІРНОВ М. О., ГАЙДАЙ І. О.**  
Фотокаталізатор на основі купрум оксидів, отриманих електролізом 88
9. **СМІШКО Р. О., СТРАШНИЙ В. В., ЛІСОВИЙ В. М.,  
ЛИЖНЮК В. В., ГОЙ А. М., САВЧЕНКО К. І.,  
ВАХІТОВА Л. М., БЕССАРАБОВ В. І.**  
Дослідження впливу лоратадину та дезлоратадину на активність 15-ліпоксигенази 96

## TABLE OF CONTENTS

### INFORMATION TECHNOLOGIES, ELECTRONICS, MECHANICAL AND ELECTRICAL ENGINEERING

1. **GOLINKO V. V., NEDOSNOVANYI O. Yu.**  
Automation of geoinformation data processing by neural network technology 9
2. **DERMAN V. A., SUKALO M. L.**  
Method of justification of the necessary number of environmental monitoring tools and optimization of their location places 17
3. **PAVLIUCHENKO V. A., MAKARENKO V. V.**  
Analysis of the possibility of using wi-fi technology in the transport network to improve traffic and pedestrian safety 28
4. **RUBANKA M. M., KOVALOV Yu. A., RUBANKA A. I.**  
Innovative technologies in the production of sewing products: preparation department equipment 38
5. **SHVEDCHKOVA I. O., PISOTSKYI A. V.**  
Preliminary assessment of the efficiency of a hybrid wind-solar system functioning to provide the own needs of the local consumer 53
6. **SHYSHKOVA K. A., KOZAK A. V.**  
Directional properties of a circular cylindrical piezoceramic transducer with a flat screen in the diametrical 65

### MATERIAL SCIENCE IN THE TEXTILE, CLOTHING AND FOOTWEAR MANUFACTURING INDUSTRIES

7. **ARABULI A., BAJZIK V., KYZYMCHUK O.**  
Electromagnetic shielding effectiveness of hybrid knitted fabrics with stainless steel wire 77

### CHEMICAL AND BIOPHARMACEUTICAL TECHNOLOGIES

8. **MAKYEYEVA I. S., SMIRNOV M. A., GAIDAI I. A.**  
The photocatalyst based on copper oxides obtained by electrolysis 88
9. **SMISHKO R. O., STRASHNYI V. V., LISOVYI V. M.,  
LYZHNIUK V. V., GOY A. M., SAVCHENKO K. I.,  
VAKHITOVA L. M., BESSARABOV V. I.**  
Study of the influence of loratadine and desloratadine on 15-lipoxygenase activity 96

УДК 378.096:  
004.738.5

<sup>1</sup> ГОЛІНКО В. В., <sup>2</sup> НЕДОСНОВАНИЙ О. Ю.

<sup>1</sup> Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

<sup>2</sup> Вінницький національний технічний університет, Україна

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ДАНИХ ТЕХНОЛОГІЄЮ НЕЙРОМЕРЕЖІ

**Методика.** У даній статті представлено оптимізацію обробки геоданих, заснованих на глибинних нейронних мережах (GeoDNN+ 2.0), яка пропонує ефективний та автоматизований підхід до аналізу географічних даних. Вступний розділ розкриває недоліки існуючих систем геоінформаційної обробки даних, такі як складність налаштування, обмежені ресурси та час обробки, недостовірні результати та необхідність постійного моніторингу. Він підкреслює потребу у оптимізованому підході, що вирішує ці недоліки та відкриває перспективи для геоінформатики.

**Результати.** GeoDNN+ 2.0 базується на глибинних нейронних мережах, які використовуються для автоматичного визначення характеристик географічних об'єктів без попередньої ручної обробки даних. Це дозволяє уникнути людських помилок та підвищує точність обробки, а механізми самонавчання забезпечують постійне покращення якості з використанням нових даних. GeoDNN+ 2.0 демонструє високу ефективність обробки великих обсягів геоданих завдяки оптимізованій структурі та паралельним обчисленням.

Іншою важливою перевагою GeoDNN+ 2.0 є його здатність до ефективною інтеграції з різними джерелами геоданих, що дозволяє отримати повний обсяг інформації та забезпечує комплексний аналіз. Це особливо корисно в сферах, де велика кількість даних з різних джерел вимагає глибокого аналізу та зручних інструментів для інтеграції.

**Загальна мета статті** – розкрити потенціал GeoDNN+ 2.0 у вирішенні різноманітних завдань геоінформатики та показати його переваги порівняно з існуючими системами. Для досягнення цієї мети, автори презентують детальний аналіз архітектури GeoDNN+ 2.0 та наводять приклади його реалізації на основі класифікації географічних об'єктів у форматі *shapefile*. Загалом, стаття демонструє, що GeoDNN+ 2.0 є потужним та перспективним інструментом для сучасної геоінформатики, що вирішує недоліки існуючих систем та надає оптимізацію можливостей для обробки та аналізу геоданих, враховуючи потреби сучасного світу.

**Ключові слова:** Геодані; автоматизація; обробка даних; AWS Glue; продуктивність; точність; масштабованість; інтеграція джерел даних.

**Вступ.** У сучасному світі величезний обсяг географічних даних відіграє важливу роль у багатьох сферах, включаючи науку, бізнес, екологію, аграрний сектор, енергетику та багато інших. Аналіз та обробка геоданих є невід'ємною частиною розв'язання складних проблем, пов'язаних із визначенням локацій, прогнозуванням подій, моделюванням динаміки ландшафту та багатьох інших важливих завдань. Проте, розвиток та використання існуючих систем геоінформаційної обробки даних вимагає вирішення ряду складних проблем та недоліків.

У цьому контексті, дана стаття пропонує оптимізацію методу обробки геоданих, що базується на глибинних нейронних мережах (GeoDNN+ 2.0). Цей метод вирішує деякі недоліки, що існують у традиційних системах геоінформаційної обробки даних, та відкриває перспективи для більш ефективного, точного та автоматизованого аналізу географічних даних.

Одною з ключових переваг оптимізованого методу GeoDNN+ 2.0 є його здатність автоматично визначати характеристики та особливості географічних об'єктів без потреби в ручній попередній обробці даних. Це дозволяє уникнути людських помилок та знижує вплив факторів, пов'язаних із суб'єктивним відбором ознак. Більш того, GeoDNN+ 2.0 використовує механізми самонавчання, що дозволяє постійно покращувати якість та точність обробки з

використанням даних, що стає важливим у ситуаціях з постійним збільшенням обсягів геоданих.

Іншою ключовою перевагою GeoDNN+ 2.0 є його здатність до ефективної обробки саме великих обсягів геоданих, що може бути особливо корисним у сферах зі значними обсягами даних, таких як сільське господарство, містобудування, логістика та інші. Завдяки оптимізованій структурі глибинних нейронних мереж та використанню паралельних обчислень, GeoDNN+ 2.0 демонструє високу швидкість обробки та забезпечує зменшення витрат на ресурси.

Окрім того, GeoDNN+ 2.0 може забезпечувати ефективну інтеграцію з різними джерелами геоданих, такими як бази даних, сховища даних або веб-сервіси. Це дозволяє отримувати повний обсяг інформації та забезпечує більш глибокий та комплексний аналіз географічних даних.

Мета цієї статті – розкрити переваги оптимізованого методу GeoDNN+ 2.0 та його потенціал у вирішенні різноманітних завдань геоінформаційної обробки та збору даних. Для досягнення цієї мети, ми надамо докладний огляд архітектури GeoDNN+ 2.0 та його реалізації на прикладі аналізу та класифікації географічних об'єктів у форматі shapefile.

**Постановка завдання** статті "GeoDNN+ 2.0: оптимізація методу обробки геоданих на основі глибинних нейронних мереж":

Мета даної статті полягає в розкритті переваг та потенціалу оптимізованого методу обробки геоданих, використовуючи глибинні нейронні мережі (GeoDNN+ 2.0). Згадані вище переваги використання GeoDNN+ 2.0, включаючи автоматичне визначення характеристик географічних об'єктів, ефективнішу обробку великих обсягів даних та забезпечення інтеграції з різними джерелами геоданих, зроблять статтю цінним інструментом для розв'язання різноманітних задач у геоінформаційному секторі.

Загальна проблема, яку стаття ставить за мету ліквідувати, полягає у вирішенні складних проблем і недоліків, що існують у традиційних системах геоінформаційної обробки даних. GeoDNN+ 2.0 призначений для забезпечення більш ефективного, точного та автоматизованого аналізу географічних даних, зменшення впливу людських помилок та підвищення якості та точності обробки шляхом використання механізмів самонавчання.

Для досягнення цієї мети, стаття надасть докладний огляд архітектури GeoDNN+ 2.0 та продемонструє його реалізацію на прикладі аналізу та класифікації географічних об'єктів у форматі shapefile. Читачі отримають розуміння того, як GeoDNN+ 2.0 може бути застосований у різних сферах, таких як наука, бізнес, екологія, аграрний сектор, енергетика та інші, для вирішення реальних проблем і задач.

Загалом, дана стаття пропонує оптимізацію обробки геоданих, який може принести значний внесок у розвиток геоінформаційних технологій та вирішення складних географічних завдань у різних галузях діяльності.

**Результати дослідження.** Стаття [1] присвячена застосуванню глибинного навчання для обробки геоданих. Вона надає технічний огляд сучасних методів глибинного навчання та їх вплив на аналіз зображень, отриманих з дистанційного зондування. Перевагою цієї статті є те, що вона знайомить читачів з основними підходами та методами глибинного навчання, що застосовуються до геоданих, робить акцент на практичних аспектах застосування та використанні таких моделей для різних задач обробки геоданих. В статті [2] представлено огляд застосування глибинного навчання в області дистанційного зондування. Вона детально розглядає різні підходи глибинного навчання для обробки геоданих, такі як зображення, сегментація, класифікація та інші задачі. Ця стаття надає широкий огляд досліджень, що зосереджуються на збільшенні точності та надійності обробки даних дистанційного зондування за допомогою глибинного навчання.

В статті [3] розглядаються підходи до покращення класифікації географічних зображень за допомогою глибинного навчання та техніки об'єднання даних (fusion). Вона наголошує на важливості комбінування інформації з різних джерел та датчиків для покращення точності та забезпечення більш повного аналізу геоданих. В статті [4] розглядається застосування глибинного навчання для моніторингу та діагностики стану машин. Вона досліджує, як глибинні нейронні мережі можуть бути використані для виявлення аномалій та прогнозування відмов у машинних системах. Стаття надає інсайти в потенційні переваги глибинного навчання для забезпечення більш ефективного моніторингу і попередження відмов. Отже проаналізувавши матеріал з цих статей ми можемо зробити висновок, що їх недоліками є:

**Складність налаштування та використання:** Багато існуючих систем обробки геоданих вимагають високого рівня експертизи та знань для їх відповідного налаштування та ефективного використання. Це ускладнює їх застосування для користувачів, які не є фахівцями у геоінформатиці.

**Обмежені ресурси та час обробки:** Обробка великих обсягів геоданих може вимагати значних обчислювальних ресурсів та тривалого часу. При цьому, існуючі методи не завжди забезпечують достатню ефективність та швидкість обробки.

**Недостовірні результати:** Ручна обробка геоданих може призводити до людських помилок та недостовірних результатів, особливо при великій кількості даних. Це може ставити під сумнів достовірність та точність отриманих висновків.

**Постійний моніторинг та втручання:** Деякі системи геоінформаційної обробки вимагають постійного моніторингу та ручного втручання з боку користувача для керування процесами обробки. Це може бути затратним у часовому та ресурсному аспекті.

**Обмежена інтеграція з іншими джерелами даних:** Деякі системи обробки геоданих не підтримують зручну інтеграцію з іншими джерелами даних, такими як бази даних, сховища даних або веб-сервіси. Це може обмежувати доступ до різноманітних даних та знижувати повноту обробки.

Основою на перелічених недоліках існуючих систем, виникла потреба в оптимізації методу обробки геоданих, яка би забезпечувала високу автоматизацію, точність та ефективність обробки, а також знімала би обмеження на ресурси та надавала можливість інтеграції з іншими джерелами даних. Метод GeoDNN+ 2.0, який базується на використанні глибинних нейронних мереж, є новаторським підходом, що дозволяє вирішити ці проблеми та забезпечити більш сучасний та потужний інструмент для автоматизованої обробки геоданих. За допомогою глибинних нейронних мереж, метод GeoDNN+ 2.0 може автоматично вивчати корисні ознаки з геоданих, уникнути людських помилок, підвищити точність та швидкість обробки, а також забезпечити зручну інтеграцію з різними джерелами даних, що робить його обіцяючим інструментом для сучасної геоінформатики.

Авторами запропоновано оптимізацію методу використання глибинного навчання GeoDNN+ 2.0, що на відміну від розглянутих полягає у автоматичному вивченні корисних ознак з геоданих. Це дозволяє знизити вплив людського фактору і підвищити точність обробки даних. Застосування глибинного навчання дозволяє автоматизувати процес вивчення характеристик та ознак з даних, що робить аналіз геоданих більш ефективним та надійним. Використання такого підходу може значно покращити ефективність обробки геоданих та забезпечити високу автоматизацію, що є ключовими перевагами у сучасній обробці геоданих.

Системи геоінформаційної обробки даних стали невід'ємною складовою для розв'язання складних завдань, пов'язаних із збором, аналізом та інтерпретацією географічних даних. Однак, існуючі методи обробки геоданих мають свої недоліки та обмеження, що можуть ускладнювати процеси обробки та знижувати якість результатів. Завдяки цим

недолікам існуючих систем геоінформаційної обробки даних, оптимізовано метод, який базується на глибинних нейронних мережах (GeoDNN+ 2.0). Цей метод став актуальним та перспективним для покращення обробки геоданих.

Глибинна нейронна мережа для автоматизованої обробки геоданих (GeoDNN+ 2.0+)

Опис ідеї: Глибинні нейронні мережі (Deep Neural Networks - DNN) виявилися дуже ефективними в розв'язанні складних завдань, таких як обробка зображень і тексту. Ми пропонуємо використати глибинні нейронні мережі для автоматизованої обробки геоданих, зокрема для формату sharefile.

Кроки алгоритму GeoDNN+ 2.0 для оптимізованої обробки геоданих у форматі sharefile:

Підготовка даних

Зчитування геоданих: Відкриваємо файл з геоданими (climate\_data.shp), який містить інформацію про температуру та вологість для різних регіонів.

Нормалізація: Стандартизуємо числові характеристики (температура та вологість), перетворюючи їх на змінні з середнім значенням 0 і стандартним відхиленням 1.

Створення ад'яценційної матриці: Визначаємо, які регіони знаходяться поруч один з одним на основі просторової відстані між ними.

Табличні дані

Автоенкодер: Створюємо автоенкодер для табличних даних. Модель кодує змінні та потім декодує їх назад, намагаючись відтворити вихідні дані.

Тренування: Навчаємо автоенкодер за допомогою табличних даних.

Растрові дані

Згенеровані зображення NDVI: Створюємо випадкові растрові зображення для прикладу. У реальних сценаріях тут ми б зчитали растрові дані з файлів.

Автоенкодер для зображень: Створюємо автоенкодер для растрових зображень. Модель кодує зображення і потім декодує їх назад.

Тренування: Навчаємо автоенкодер за допомогою растрових зображень.

Просторова інтеграція

Об'єднання двох моделей: Беремо кодовані характеристики з автоенкодера для табличних даних та кодовані характеристики з автоенкодера для зображень. Використовуємо Graph Neural Networks (GNN) для аналізу просторової структури між регіонами на основі ад'яценційної матриці.

Тренування: Навчаємо фінальну модель, що об'єднує всі ці характеристики, за допомогою випадкових цільових значень (для прикладу).

Тепер наведемо код з коментарями, який показує оптимізовану обробку геоданих та їх очищення від шумів:

```
import geopandas as gpd
import numpy as np
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from spektral.layers import GraphConv
from tensorflow.keras.models import Model
from tensorflow.keras.layers import Input, Dense, Conv2D, MaxPooling2D, UpSampling2D, concatenate, Flatten

# Зчитування геоданих
data = gpd.read_file('climate_data.shp')
features = data[['temperature', 'humidity']].values
```

```
# Нормалізація даних
scaler = StandardScaler()
scaled_features = scaler.fit_transform(features)

# Ад'яценційна матриця на основі просторової відстані між точками
threshold_distance = 10 # 10 км
A = np.zeros((len(data), len(data)))
for i in range(len(data)):
    for j in range(len(data)):
        if data.geometry[i].distance(data.geometry[j]) < threshold_distance:
            A[i, j] = 1

# Автоенкодер для табличних даних
input_features = Input(shape=(scaled_features.shape[1],))
encoded_features = Dense(128, activation='relu')(input_features)
encoded_features = Dense(64, activation='relu')(encoded_features)
decoded_features = Dense(128, activation='relu')(encoded_features)
decoded_features = Dense(scaled_features.shape[1], activation='sigmoid')(decoded_features)
autoencoder_features = Model(input_features, decoded_features)
autoencoder_features.compile(optimizer='adam', loss='binary_crossentropy')
autoencoder_features.fit(scaled_features, scaled_features, epochs=50, batch_size=256, shuffle=True,
validation_data=(scaled_features, scaled_features))

# Растрові дані (NDVI зображення) 64x64 pixels
images = np.random.rand(len(data), 64, 64, 1) # grayscale images

# Автоенкодер для растрових даних
input_images = Input(shape=(64, 64, 1))
x = Conv2D(32, (3, 3), activation='relu', padding='same')(input_images)
x = MaxPooling2D((2, 2), padding='same')(x)
x = Conv2D(16, (3, 3), activation='relu', padding='same')(x)
encoded_images = MaxPooling2D((2, 2), padding='same')(x)

x = Conv2D(16, (3, 3), activation='relu', padding='same')(encoded_images)
x = UpSampling2D((2, 2))(x)
x = Conv2D(32, (3, 3), activation='relu', padding='same')(x)
x = UpSampling2D((2, 2))(x)
decoded_images = Conv2D(1, (3, 3), activation='sigmoid', padding='same')(x)

autoencoder_images = Model(input_images, decoded_images)
autoencoder_images.compile(optimizer='adam', loss='binary_crossentropy')
autoencoder_images.fit(images, images, epochs=50, batch_size=256, shuffle=True, validation_data=(images,
images))

# Об'єднання двох моделей та GNN для просторової інтеграції
X_input = Input(shape=(scaled_features.shape[1],))
A_input = Input((len(data), len(data)))
graph_conv_1 = GraphConv(128, activation="relu")(X_input, A_input)
graph_conv_2 = GraphConv(32, activation="relu")(graph_conv_1)

image_input = Input(shape=(64, 64, 1))
image_features = Conv2D(32, (3, 3), activation='relu', padding='same')(image_input)
image_features = MaxPooling2D((2, 2), padding='same')(image_features)
image_features = Flatten()(image_features)
```

```
combined = concatenate([graph_conv_2, image_features])  
output = Dense(1, activation='sigmoid')(combined)
```

```
final_model = Model(inputs=[X_input, A_input, image_input], outputs=output)  
final_model.compile(optimizer='adam', loss='binary_crossentropy')  
y = np.random.randint(0, 2, len(data)) # random binary target variable for example  
final_model.fit([scaled_features, A, images], y, epochs=10)
```

Для адаптації цього коду під нові дані слід врахувати:

1. Змінити шлях до вашого нового файлу і налаштуйте зчитування даних відповідно.
2. Нормалізуйте або масштабуйте дані за необхідністю.
3. Налаштуйте ад'яценційну матрицю за вашими критеріями відстані або зв'язності.
4. Модифікуйте архітектури моделей згідно із вашими даними (наприклад, розмірність вхідних даних, кількість шарів тощо).

**Висновки.** Оптимізований метод обробки геоданих, який ми пропонуємо, спрямований на інтеграцію та оптимізацію підходів з декількох галузей обробки геоданих. Основна ідея полягає в тому, щоб об'єднати найкращі практики з геоінформаційних систем, глибокого навчання та просторового аналізу, надаючи тим самим потужний інструмент для аналізу геоданих.

Зокрема, однією з ключових особливостей цього методу є спільна інтеграція растрових та табличних даних, що відрізняє його від стандартних підходів, де ці типи даних зазвичай обробляються окремо. Ця інтеграція здійснюється завдяки використанню автоенкодерів – нейронних мереж, що ефективно вилучають шум і виділяють важливі характеристики з великих наборів даних.

Більше того, замість традиційного аналізу геоданих на основі просторової відстані, ми застосовуємо графові нейронні мережі. Ці мережі дозволяють розглядати не тільки просторову відстань, але й інші атрибути та зв'язки між різними точками, що забезпечує глибший аналіз просторової структури.

На відміну від стандартних методів нормалізації даних, наш метод адаптується під конкретний набір даних, використовуючи середнє значення і стандартне відхилення. Додатково, ми застосовуємо ад'яценційну матрицю на основі просторової інформації, що надає точнішу інформацію про взаємозв'язки між регіонами.

Загалом, цей інноваційний метод надає більш гнучкий, адаптивний та потужний інструмент для обробки геоданих, який може бути легко підлаштований під різні задачі та типи даних.

## References

1. Jesse Fredrickson (2020). URL: <https://towardsdatascience.com/aws-glue-and-you-e2e4322f0805>.
2. Synerzip (2023). A Practical Guide to AWS Glue. URL: <https://www.synerzip.com/blog/a-practical-guide-to-aws-glue/>
3. Sean Knight (2020). AWS Glue: Amazon's New ETL Tool. URL: <https://towardsdatascience.com/aws-glue-amazons-new-etl-tool-8c4a813d751a>.
4. Mikael Ahonen (2019). AWS Glue tutorial with Spark and Python for data developers. URL: <https://data.solita.fi/aws-glue-tutorial-with-spark-and-python-for-data-developers/>
5. Jiawei Zhang, Senzhang Wang, Ping Tan, Liang Chen, and Haoran Xie (2018). Deep Learning for

## Література

1. Jesse Fredrickson. 2020. URL: <https://towardsdatascience.com/aws-glue-and-you-e2e4322f0805>.
2. A Practical Guide to AWS Glue. *Synerzip*, 2023. URL: <https://www.synerzip.com/blog/a-practical-guide-to-aws-glue/>
3. Sean Knight. AWS Glue: Amazon's New ETL Tool. 2020. URL: <https://towardsdatascience.com/aws-glue-amazons-new-etl-tool-8c4a813d751a>.
4. Mikael Ahonen. AWS Glue tutorial with Spark and Python for data developers. 2019. URL: <https://data.solita.fi/aws-glue-tutorial-with-spark-and-python-for-data-developers/>
5. Jiawei Zhang, Senzhang Wang, Ping Tan, Liang Chen, and Haoran Xie. Deep Learning for Remote

- Remote Sensing Data: A Technical Tutorial on the State of the Art. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 6(2), 22–40.
6. Hu, Wei, Linlin Shen, and Cheng Wang (2019). A Survey on Deep Learning in Remote Sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 162, 88–106.
7. Ball, J., Anderson, K., Chan, J., Kolda, T., Kottalam, J., Lee, S., ... & Sridharan, S. (2018). Improving the Accuracy of Geographic Image Classification via Fusion. In: *Proceedings of the 2018 SIAM International Conference on Data Mining (SDM)*, 413–421.
8. Yang, X., Guo, R., Zhang, Z., & Zheng, Y. (2017). Deep Learning and Its Applications to Machine Health Monitoring. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 104, 799–814.
9. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444.
10. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning. MIT press.
- Sensing Data: A Technical Tutorial on the State of the Art. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. 2018. Iss. 6(2). P. 22–40.
6. Hu Wei, Linlin Shen, and Cheng Wang. A Survey on Deep Learning in Remote Sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2019. Iss. 162. P. 88–106.
7. Ball J., Anderson K., Chan J., Kolda T., Kottalam J., Lee S., ... & Sridharan S. Improving the Accuracy of Geographic Image Classification via Fusion. In: *Proceedings of the 2018 SIAM International Conference on Data Mining (SDM)*. 2018. P. 413–421.
8. Yang X., Guo R., Zhang Z., Zheng Y. Deep Learning and Its Applications to Machine Health Monitoring. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2017. Iss. 104. P. 799–814.
9. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning. *Nature*. 2015. Iss. 521(7553). P. 436–444.
10. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep learning. MIT press, 2016.

**GOLINKO VITALII**

Postgraduate student,  
Department of Computer Technologies,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
E-mail: [alexandrnedosnovany@gmail.com](mailto:alexandrnedosnovany@gmail.com)

**NEDOSNOVANYI OLEKSANDR**

Postgraduate student,  
Department of Computer Engineering  
Vinnitsia National Technical  
University, Ukraine  
E-mail: [frank.2@ukr.net](mailto:frank.2@ukr.net)

<sup>1</sup>GOLINKO V. V., <sup>2</sup>NEDOSNOVANYI O. Yu.

<sup>1</sup> Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

<sup>2</sup> Vinnitsia National Technical University, Ukraine

**AUTOMATION OF GEOINFORMATION DATA PROCESSING  
BY NEURAL NETWORK TECHNOLOGY**

**Methodology.** This paper presents an optimized method of geodata processing based on deep neural networks (GeoDNN+ 2.0), which offers an efficient and automated approach to geographic data analysis. The introductory section details the shortcomings of existing geoinformation processing systems, such as complexity of setup, limited resources and processing time, unreliable results, and the need for constant monitoring. It emphasizes the need for a new approach that addresses these shortcomings and opens up new perspectives for geoinformatics.

**Findings.** GeoDNN+ 2.0 is based on deep neural networks, which are used to automatically determine the characteristics of geographic objects without prior manual data processing. This avoids human errors and improves processing accuracy, while self-learning mechanisms ensure continuous quality improvement using new data. GeoDNN+ 2.0 demonstrates high efficiency in processing large volumes of geodata due to its optimized structure and parallel computing.

Another important advantage of GeoDNN+ 2.0 is its ability to effectively integrate with various geodata sources, which allows you to get the full amount of information and provides comprehensive analysis. This is especially useful in areas where a large amount of data from different sources requires in-depth analysis and convenient integration tools.

*The overall goal of the article is to reveal the potential of GeoDNN+ 2.0 in solving various geoinformatics problems and show its advantages over existing systems. To achieve this goal, the authors present a detailed analysis of the GeoDNN+ 2.0 architecture and provide examples of its implementation on the example of classifying geographic objects in shapefile format. In general, the article demonstrates that GeoDNN+ 2.0 is a powerful and promising tool for modern geoinformatics that solves the shortcomings of existing systems and provides optimised opportunities for automated processing and analysis of geodata, taking into account the needs of the modern world.*

**Keywords:** *Geodata; automation; data processing; AWS Glue; performance; accuracy; scalability; integration of data sources.*

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.4.2>

УДК 004.  
738.5:005

DERMAN V. A., SUKALO M. L.

National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

## METHOD OF JUSTIFICATION OF THE NECESSARY NUMBER OF ENVIRONMENTAL MONITORING TOOLS AND OPTIMIZATION OF THEIR LOCATION PLACES

**Introduction.** In modern conditions, an urgent issue for Ukraine is the development of a methodology for substantiating the locations of mobile ecological laboratory bases and their composition, which will allow for limited time monitoring of territories affected by hostilities, potentially dangerous objects (PDO) and about objects of critical infrastructure (OCI).

**Purpose.** Mobile environmental laboratories in the region should be located to minimize the costs of monitoring and responding to time-limited emergencies.

**Methodology.** The existing bases of environmental monitoring means should be considered as initial conditions for creating a methodology for solving this problem of optimizing the placement of mobile environmental laboratories in the territories immediately adjacent to the areas of hostilities.

**Findings.** The results of the research can be used in the development of recommendations for choosing the optimal placement of unmanned aircraft complex (UAC) and their infrastructure on the territory of Ukraine in the context of reforming and reducing the number of aviation. A well-grounded choice of a section of the region's territory for the deployment of UAC will increase the level of technogenic and environmental safety during work on the prevention, monitoring and elimination of emergencies of a natural and technogenic nature.

**Originality.** The results of the research can be used in the development of recommendations for choosing the optimal placement of UAC and their infrastructure on the territory of Ukraine in the context of reforming and reducing the number of aviation. A well-grounded choice of a section of the region's territory for the deployment of UAC will increase the level of technogenic and environmental safety during work on the prevention, monitoring and elimination of emergencies of a natural and technogenic nature.

**Practical value.** Thus, the example of the practical application of the method of substantiating the required number of forces and means of environmental monitoring of operational zones and areas of hostilities is carried out according to the criterion of the minimum number of forces and means used, provided that the full scope of monitoring works is performed. The article provides a mathematical formulation of the problem for the development of the methodology and an example of its calculation for determining the location of mobile ecological laboratories using unmanned aerial vehicle complexes.

**Keywords:** methodology; environmental monitoring; unmanned aircraft complex; optimization; potentially dangerous objects; objects of critical infrastructure.

**Introduction.** The ecological assessment of regional factors of threats from natural and man-made emergencies in the conditions of warfare showed that it is necessary to take into account the significant dependence of the response speed of mobile ecological laboratories depending on the location of their bases, the level of natural and man-made threats, the number of PDO and OCI, the dynamics of emergency situations [1–3].

Mobile environmental laboratories in the region should be located to minimize the costs of monitoring and responding to time-limited emergencies. This can be achieved by:

- 1) autonomy of use of UAC;
- 2) observance of safety measures during flights;
- 3) ability to maneuver take-off and landing points during response to emergency situations;
- 4) multifunctionality of monitoring equipment.

From a mathematical point of view, this problem belongs to combinatorial problems. A meaningful statement of the problem is as follows: among the many possible plans for the deployment of air defense systems in the region, find a plan that minimizes the costs of monitoring, responding and liquidating emergencies of a natural and natural nature, of military and man-made origin, while meeting the time limit for responding to emergency situations.

To determine the extent of the threat of natural and man-made emergencies, information on the number of potentially dangerous objects, statistics of dangerous hydrometeorological processes, and statistics of natural and man-made emergencies is required.

The existing bases of environmental monitoring means should be considered as initial conditions for creating a methodology for solving this problem of optimizing the placement of mobile environmental laboratories in the territories immediately adjacent to the areas of hostilities.

**Presentation of the main material.** The main criteria for the effectiveness of the environmental monitoring system are efficiency and economy, i.e. minimization of time and resources spent on environmental monitoring in the combat zone, detection and localization of potentially dangerous objects, etc. This can be done by deploying mobile episodic networks (MEM) using telecommunication aerial platforms (TA) (Fig. 1), which will collect, partially process and transmit information to specialized coordination centers for environmental monitoring [16]. Subscribers of such networks (military ecologists, rescuers, environmental sensors or vehicles of mobile ecological laboratories) can connect with each other (or with the coordination center) based on temporary links with relaying through intermediate ground or air-based nodes. Not only emergency services aircraft (An-32P aircraft, Mi-8 and ES-145 helicopters), but also mini- and micro-class unmanned aerial systems can be used as aerial repeaters.

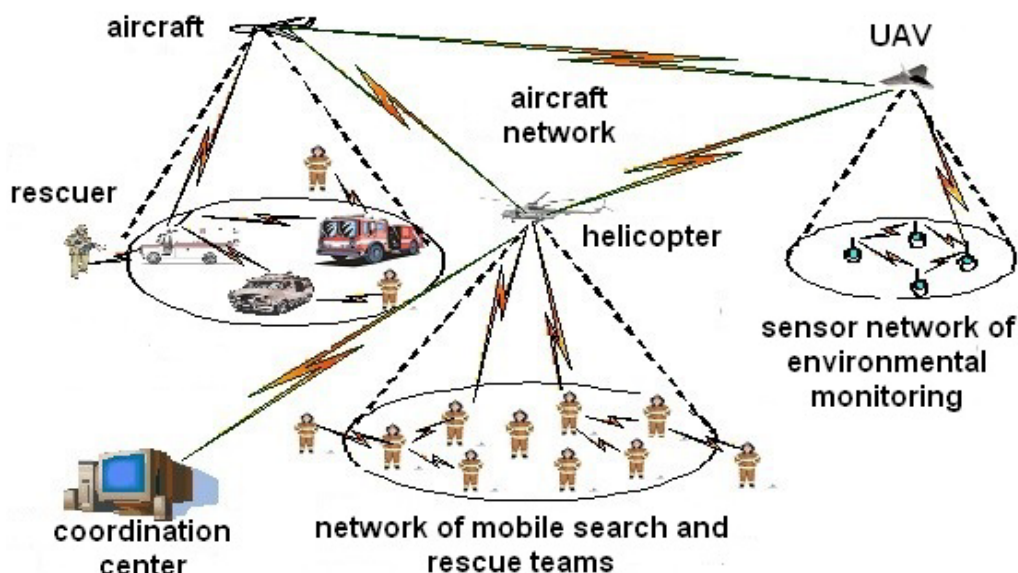


Figure 1. An example of the organization of a mobile episodic network using aerial repeaters

To determine the magnitude of threats of emergencies of natural and man-made origin, information is needed on the number of potentially man-made objects, statistics on hazardous hydrometeorological processes, statistics on emergencies of natural and man-made origin.

For the region, the vector of the composition of unmanned aircraft complex is known according to the characteristics of the threats of emergency situations for the region –  $Z_j = \|z_j\|_n$ , areas of the territory (airfields, airports, helipads) of the region where, subject to the implementation of aerodrome technical support and flight safety measures, unmanned aircraft complex (UAC) can be deployed –  $T_i = \|t_i\|_m$ , the area of zones of occurrence of natural and man-made emergencies –  $S_{TOi} = \|s_{TOi}\|_m$ , the density of the location of potentially dangerous objects (PDO) and the intensity of emergencies in the relevant areas of the region –  $Y_j = \|y_j\|_n$ , and the contingent costs of carrying out measures to eliminate emergency situations and restore the environment  $C_{ij} = \|c_{ij}\|_{m \times n}$ .

In general terms, these initial conditions can be written as

$$C = \begin{pmatrix} | & z_1 & \dots & z_j & \dots & z_n & | \\ \hline t_1 & c_{11} & \dots & c_{1j} & \dots & c_{1n} & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \\ t_i & c_{i1} & \dots & c_{ij} & \dots & c_{in} & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \\ t_m & c_{m1} & \dots & c_{mj} & \dots & c_{mn} & \\ \hline | & y_1 & \dots & y_j & \dots & y_n & | \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Also known are the permissible levels of risks of occurrence of man-made and natural emergencies (density of emergency situations) for the corresponding zone of possible location of the UAC:

- risk zones of possible aviation incidents [units/day] –  $ar_j, j = \overline{1, m}$ ;
- zones of point potentially dangerous objects [units/day] –  $vpr_j, j = \overline{1, m}$ ;
- zones of linear extended potentially dangerous objects [units/day] –  $vgr_j, j = \overline{1, m}$ ;
- zones of planar potentially dangerous objects [units/day] –  $gr_j, j = \overline{1, m}$ .

The density of emergency situations, which characterizes the corresponding concentration of the technogenic factor in the environmental components for the corresponding UAC, can be determined by the formula

$$N_{T_{moi}} = \frac{y_{moi}(t, x, y)}{s_{moi}}, \quad (2)$$

where  $i = \overline{1, n}$  – man-made objects,

$s_{moi}$  – area of risk zone, respectively, for one UAC.

With such initial conditions, it is necessary to find such a plan for the distribution of areas of the region's territory for UAC, which would ensure the minimization of costs in the elimination of emergencies and the performance of recovery work in the region and the implementation of restrictions on the levels of risks, taking into account the response time.

The plan of assignment (distribution) of areas of the region's territory for the placement of UAC:

$$X = \|x_{ij}\|_{m \times n} = \begin{pmatrix} | & z_1 & \dots & z_j & \dots & z_n & | \\ \hline t_1 & x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \\ t_i & x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \\ t_m & x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} & \\ \hline | & & & & & & | \end{pmatrix}, \quad (3)$$

where  $x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{when the UAC is located in the region} \\ 0, & \text{when there is no UAC in the region} \end{cases}$ .

Then the mathematical statement of the problem of the optimal placement of a UAC in possible risk zones on the territory of the region is formulated as follows: on the set of possible plans for the deployment of UAC (assignment distribution)  $\{X\}$  in the territory of the region, each of which

$\|x_{ij}\|_{m \times n}$  satisfies the system of restrictions:

– in the accommodation area for the UAC:

$$\sum_{i=1}^m z_{ij} \cdot s_{yj} \leq s_{xi}, j = \overline{1, m}; \quad (4)$$

– to permissible levels of risk of emergencies in the area of the UAC

$$\sum_{i=1}^m ax_i \cdot y_j \leq ar_j, j = \overline{1, m}; \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m vpx_i \cdot y_j \leq vpr_j, j = \overline{1, m}; \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m vgx_i \cdot y_j \leq vgr_j, j = \overline{1, m}; \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m gx_i \cdot y_j \leq gr_j, j = \overline{1, m}, \quad (8)$$

find the optimal layout for search and rescue aircraft  $X^o = \|x_{ij}^o\|_{m \times n}$  that minimizes the overall cost of maintaining an environmentally sound region

$$CS(X^o) = \min_{\{X\}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \cdot y_j. \quad (9)$$

Evolutionary methods are recommended for solving this problem.

The effectiveness of the deployment of UAC on the territory of the region can be assessed by the ratio of its level and the costs of its implementation, including taking into account the costs of responding to emergency situations and restoring the environment

$$ES = \frac{WS^{ПД}}{CS}. \quad (10)$$

Since the considered problem minimizes  $CS$  costs, the efficiency of using search and rescue aircraft in the region is maximized

$$ES^{ПД} = \frac{WS_{nomp}^{ПД}}{\min CS} = \max ES^{ПД}. \quad (11)$$

The results of the research can be used in the development of recommendations for choosing the optimal placement of UAC and their infrastructure on the territory of Ukraine in the context of reforming and reducing the number of aviation. A well-grounded choice of a section of the region's territory for the deployment of UAC will increase the level of technogenic and environmental safety during work on the prevention, monitoring and elimination of emergencies of a natural and technogenic nature.



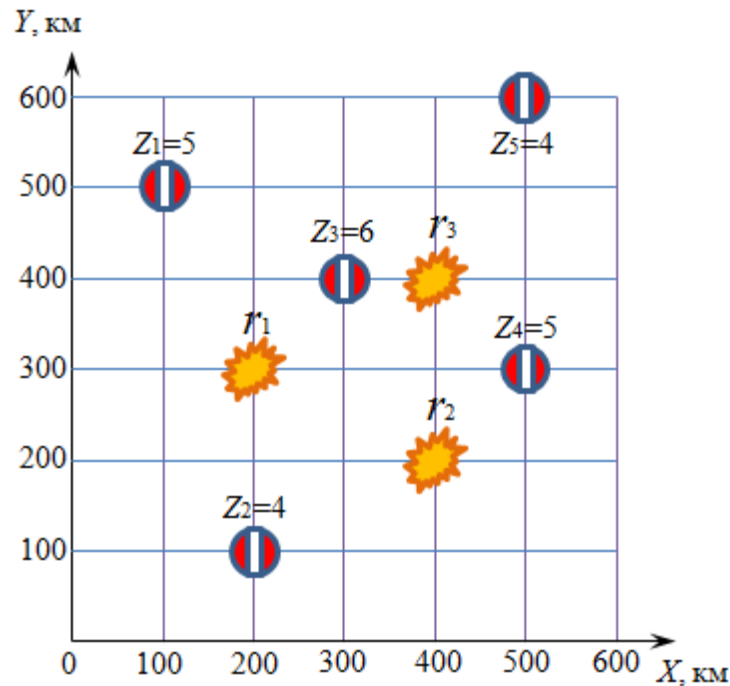


Figure 2. Location of airfields of the Armed Forces of Ukraine for areas of hostilities

2. Determination of the maximum area of the  $j$ -th monitoring area, which can be surveyed by one aircraft of the  $i$ -th aerodrome  $S_{surv\ ji}$ . Using the formula  $S_{surv\ ji} = N \left( T_{max} - \frac{2L_{ji}}{V} \right)$ , we obtain:

$$S_{surv\ ji} = \begin{Bmatrix} 9990 & 11025 & 13680 & 945 & 6525 \\ 945 & 9990 & 9990 & 13680 & 1485 \\ 5805 & 3825 & 15525 & 13680 & 9990 \end{Bmatrix}. \quad (15)$$

3. Mathematical problem statement:

$$\bar{X} = \min_{X \in \Omega} F = \min_{X \in \Omega} \sum_{i=1}^5 x_i. \quad (16)$$

if the requirements for the total survey area and airfield resources are met

$$\Omega: \left\{ \begin{array}{l} 9990x_1 + 11025x_2 + 13680x_3 + 945x_4 + 6525x_5 \geq 100000 \\ 945x_1 + 9990x_2 + 9990x_3 + 13680x_4 + 1485x_5 \geq 100000 \\ 5805x_1 + 3825x_2 + 15525x_3 + 13680x_4 + 9990x_5 \geq 100000 \\ 0 \leq x_1 \leq 5 \\ 0 \leq x_2 \leq 4 \\ 0 \leq x_3 \leq 6 \\ 0 \leq x_4 \leq 5 \\ 0 \leq x_5 \leq 4 \end{array} \right\}. \quad (17)$$

Calculation results:

- at the 13th iteration of the monitoring:  $F = 11, x_1 = 0; x_2 = 1; x_3 = 6; x_4 = 2; x_5 = 2;$
- at the 103rd monitoring iteration:  $F = 10, x_1 = 0; x_2 = 4; x_3 = 4; x_4 = 2; x_5 = 0.$

Thus, data were obtained on the number of aircraft at each aerodrome, which must be brought into readiness for flight.

Entering data into the computer program "TORA" (Fig. 3) and calculating the results (Fig. 4).

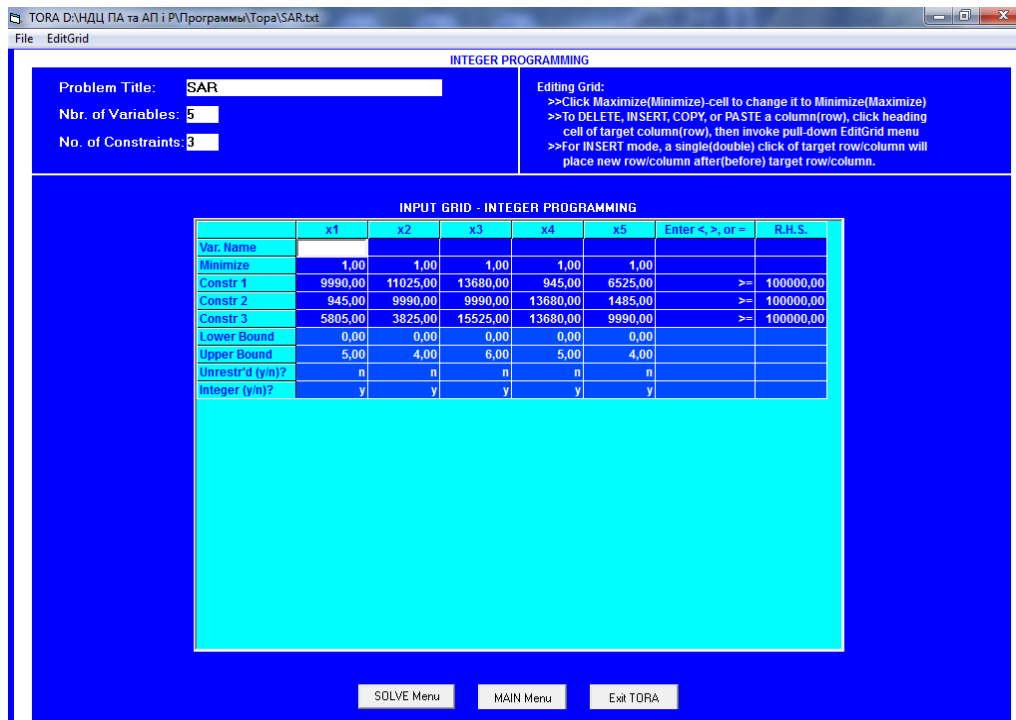


Figure 3. Data entry into the computer program "TORA"

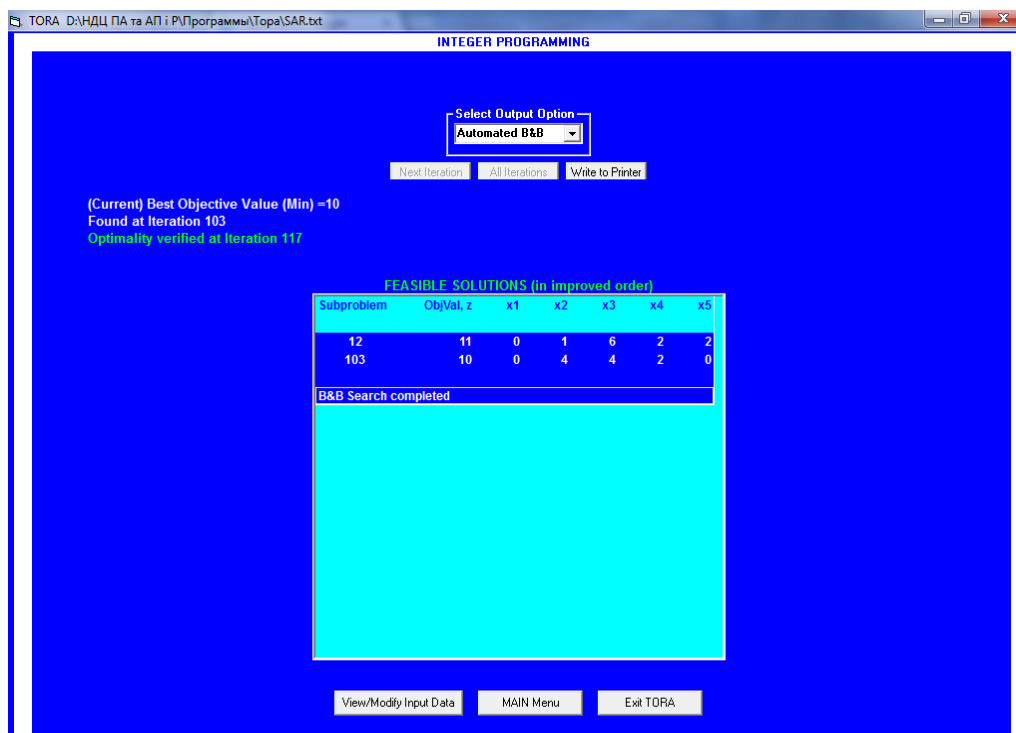


Figure 4. Calculation of results in the computer program "TORA"

Thus, the example of the practical application of the method of substantiating the required number of forces and means of environmental monitoring of operational zones and areas of hostilities is carried out according to the criterion of the minimum number of forces and means used, provided that the full scope of monitoring works is performed. The disadvantage of the solution is that the resulting decision provides information only about the number of deployed assets from each airfield of the Armed Forces of Ukraine, but does not provide an answer as to what proportion they will be used to survey this or that area of DB management. However, the obtained data can provide information on the number of aerial monitoring devices (aircraft, helicopter or multicopter type UAVs) at each airfield that need to be made ready for flight.

### Conclusions:

1. The practical use of the result of solving this problem will ensure the highest speed of response to possible emergencies of a military nature and acceptable costs for their monitoring, response and liquidation.
2. The methodology for optimizing the placement of UAVs for environmental monitoring on the territory of Ukraine is presented. Ecological and economic justification of the optimal location can be used in the development of normative documents and methods of choosing the location of the infrastructure of mobile ecological laboratories of Ukraine, provided that it is highly efficient.
3. This will ensure the maximum efficiency of the use of forces and means in the region for the performance of environmental monitoring works, provided that a sufficient level of environmental and man-made safety is ensured.
4. Reasonable selection of the area of the region for deployment of forces and means of ecological monitoring will allow to increase the level of man-made and ecological safety during the execution of works on the prevention, monitoring and liquidation of emergencies of a military-man-made nature.

Thus, the example of the practical application of the method of substantiating the required number of forces and means of environmental monitoring of operational zones and areas of hostilities is carried out according to the criterion of the minimum number of forces and means used, provided that the full scope of monitoring works is performed. The disadvantage of the solution is that the resulting decision provides information only about the number of deployed assets from each airfield of the Armed Forces of Ukraine, but does not provide an answer as to what proportion they will be used to survey this or that area of DB management. However, the obtained data can provide information on the number of aerial monitoring devices (aircraft, helicopter or multicopter type UAVs) at each airfield that need to be made ready for flight.

### References

1. Uryvsky, L., Moshynska, A., Solianikova, V., Shmigel, B. (2021). Application of the Classical Noise Immunity Theory for Prediction of the Parameters of Perspective Multiservice Telecommunications in Accordance with Modern Digital Standards. *Current Trends in Communication and Information Technologies*: monograph. Springer, Cham. Pp. 38–59. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_3).
2. Uryvsky, L., Osypchuk, S. Moshynska, A. (2021). Improving the Structural Reliability of Mobile Radio Networks Based on the Ad-Hoc Algorithms. *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*: monograph. Editors by D. Ageyev,

### Література

1. Uryvsky L., Moshynska A., Solianikova V., Shmigel B. Application of the Classical Noise Immunity Theory for Prediction of the Parameters of Perspective Multiservice Telecommunications in Accordance with Modern Digital Standards. *Current Trends in Communication and Information Technologies*: monograph. Springer, Cham, 2021. Pp. 38–59. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_3).
2. Uryvsky L., Osypchuk S. Moshynska A. Improving the Structural Reliability of Mobile Radio Networks Based on the Ad-Hoc Algorithms. *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*: monograph. Editors by D. Ageyev, T. Radivilova,

- T. Radivilova, N. Kryvinska. Springer, Cham. Vol. 69. Pp. 21–42. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-71892-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-71892-3_2).
3. Uryvsky, L., Lysenko, O., Novikov, V., Osypchuk, S. (2022). Control Methods Research of Indicators for Intelligent Adaptive Flying Information-Telecommunication Platforms in Mobile Wireless Sensor Networks. *Future Intent-Based Networking. Lecture Notes in Electrical Engineering*: monograph. Editors by M. Klymash, M. Beshley, A. Luntovskyy. Springer, Cham. Vol. 831, Pp. 444–467. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92435-5\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92435-5_25).
4. Tachinina, O., Lysenko, O., Alekseeva, I., Novikov, V. (2020). Mathematical Modeling of Motion of Iron Bird Target Node of Security Data Management System Sensors. *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 2711, P. 482–491. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2711/paper37.pdf>.
5. Romaniuk, V., Lysenko, O., Romaniuk, A., Zhuk, O. (2020). Increasing the efficiency of data gathering in clustered wireless sensor networks using UAV. *Information and telecommunication sciences*, Vol. 11, No. 1, P. 102–107. <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.102-107>.
6. Lysenko, O., Sparavalo, M., Tachinina, O., Yavisya, V., Ponomarenko, S. (2020). Feasibility reasoning of creating ultra-low orbit communication systems based on small satellites and method of their orbits designing. *Information and telecommunication sciences*, Vol. 11, No. 1, P. 59–70. <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.59-70>.
7. Tachinina, O., Lysenko, A. (2020). Algorithms of controlling an information robot created on the basis of unmanned aerial vehicles. *Advances in aerospace technology*, Vol. 83, No. 2, P. 13–19. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.83.14629>.
8. Alekseeva, I. V., Lysenko, O. I., Tachinina, O. M. (2020). Necessary optimality conditions of control of stochastic compound dynamic system in case of full information about state vector. *Математичні машини і системи = Mathematical machines and systems*, No. 4, P. 136–147. DOI: 10.34121/1028-9763-2020-4-136-147. URL: [http://www.immsp.kiev.ua/publications/articles/2020/2020\\_4/Alekseeva\\_04\\_20.pdf](http://www.immsp.kiev.ua/publications/articles/2020/2020_4/Alekseeva_04_20.pdf).
9. Romaniuk, A., Romaniuk, V., Sparavalo, M., Lysenko, O., Zhuk, O. (2020). Synthesis of data collection methods by telecommunication airplatforms in wireless sensors networks. *Information and telecommunication sciences*, Vol. 11, No. 2, P. 63–73. <https://doi.org/10.20535/2411-2976.22020.63-73>.
- N. Kryvinska. Springer, Cham, 2021. Vol. 69. Pp. 21–42. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-71892-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-71892-3_2).
3. Uryvsky L., Lysenko O., Novikov V., Osypchuk S. Control Methods Research of Indicators for Intelligent Adaptive Flying Information-Telecommunication Platforms in Mobile Wireless Sensor Networks. In: *Future Intent-Based Networking. Lecture Notes in Electrical Engineering*: monograph. Editors by M. Klymash, M. Beshley, A. Luntovskyy. Springer, Cham, 2022. Vol. 831. Pp. 444–467. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92435-5\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92435-5_25).
4. Tachinina O., Lysenko O., Alekseeva I., Novikov V. Mathematical Modeling of Motion of Iron Bird Target Node of Security Data Management System Sensors. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. Vol. 2711. P. 482–491. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2711/paper37.pdf>.
5. Romaniuk V., Lysenko O., Romaniuk A., Zhuk O. Increasing the efficiency of data gathering in clustered wireless sensor networks using UAV. *Information and telecommunication sciences*. 2020. Vol. 11, No. 1. P. 102–107. <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.102-107>.
6. Lysenko O., Sparavalo M., Tachinina O., Yavisya V., Ponomarenko S. Feasibility reasoning of creating ultra-low orbit communication systems based on small satellites and method of their orbits designing. *Information and telecommunication sciences*. 2020. Vol. 11, No. 1. P. 59–70. <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.59-70>.
7. Tachinina O., Lysenko A. Algorithms of controlling an information robot created on the basis of unmanned aerial vehicles. *Advances in aerospace technology*. 2020. Vol. 83, No. 2. P. 13–19. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.83.14629>.
8. Alekseeva I. V., Lysenko O. I., Tachinina O. M. Necessary optimality conditions of control of stochastic compound dynamic system in case of full information about state vector. *Математичні машини і системи*. 2020. № 4. P. 136–147. DOI: 10.34121/1028-9763-2020-4-136-147. URL: [http://www.immsp.kiev.ua/publications/articles/2020/2020\\_4/Alekseeva\\_04\\_20.pdf](http://www.immsp.kiev.ua/publications/articles/2020/2020_4/Alekseeva_04_20.pdf).
9. Romaniuk A., Romaniuk V., Sparavalo M., Lysenko O., Zhuk O. Synthesis of data collection methods by telecommunication airplatforms in wireless sensors networks. *Information and telecommunication sciences*. 2020. Vol. 11, No. 2. P. 63–73. <https://doi.org/10.20535/2411-2976.22020.63-73>.

10. Romaniuk, A., Samberg, A. (2021). Direct data collection method by telecommunications aerial platforms from the wireless sensor network nodes. *Information and telecommunication sciences*, Vol. 12, No. 1, P. 12–23. <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12021.12-23>.
11. Romaniuk, V., Lysenko, O., Novikov, V., Sushyn, I. (2021). Development of methods of positioning, localization and data collection from nodes of a free mobile sensor network using intelligent adaptive telecommunication aeroplatforms. *Information and Telecommunication Sciences*, Vol. 12, No. 2, P. 40–49. <https://doi.org/10.20535/2411-2976.22021.40-49>.
12. Lysenko, O., Valuiskyi, S., Yavisya, V., Tachinina, O., Novikov, V., Sushyn, I. (2022). Method of operational calculation of coordinates of intermediate route points of flying information robot. *Information and Telecommunication Sciences*, Vol. 13, No. 1, P. 27–34. <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12022.27-34>. URL: <http://infotelesc.kpi.ua/article/view/259749>.
10. Romaniuk A., Samberg A. Direct data collection method by telecommunications aerial platforms from the wireless sensor network nodes. *Information and telecommunication sciences*. 2021. Vol. 12, No. 1. P. 12–23. <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12021.12-23>.
11. Romaniuk V., Lysenko O., Novikov V., Sushyn I. Development of methods of positioning, localization and data collection from nodes of a free mobile sensor network using intelligent adaptive telecommunication aeroplatforms. *Information and Telecommunication Sciences*. 2021. Vol. 12, No. 2. P. 40–49. <https://doi.org/10.20535/2411-2976.22021.40-49>.
12. Lysenko O., Valuiskyi S., Yavisya V., Tachinina O., Novikov V., Sushyn I. Method of operational calculation of coordinates of intermediate route points of flying information robot. *Information and Telecommunication Sciences*. 2022. Vol. 13, No. 1. P. 27–34. <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12022.27-34>. URL: <http://infotelesc.kpi.ua/article/view/259749>.

**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](mailto:biginhunter@gmail.com)

**DERMAN VADIM**

Post graduate student  
Faculty of Automation and Computer Systems,  
National University of Food Technologies,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-0996-0318>  
E-mail: [biginhunter@gmail.com](mailto:biginhunter@gmail.com)

**ДЕРМАН В. А., СУКАЛО М. Л.**

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

### **МЕТОДИКА ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОЇ КІЛЬКОСТІ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МІСЦЬ ЇХ РОЗТАШУВАННЯ**

**Вступ.** У сучасних умовах актуальним питанням для України є розробка методики обґрунтування місць розташування пересувних екологічних лабораторних баз та їх складу, що дозволить проводити обмежений у часі моніторинг територій, що постраждали від бойових дій, потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) та про об'єкти критичної інфраструктури (ОКІ).

**Мета.** Мобільні екологічні лабораторії в регіоні повинні бути розташовані, щоб мінімізувати витрати на моніторинг та реагування на обмежені за часом надзвичайні ситуації.

**Методологія.** Існуючі основи засобів екологічного моніторингу слід розглядати як вихідні умови для створення методології вирішення даної проблеми оптимізації розміщення мобільних екологічних лабораторій на територіях, що безпосередньо прилягають до районів бойових дій.

**Висновки.** Результати дослідження можуть бути використані при розробці рекомендацій щодо вибору оптимального розміщення УАК та їх інфраструктури на території України в контексті реформування та скорочення чисельності авіації. Обґрунтований вибір ділянки території області для розміщення ОАК підвищить рівень техногенно-екологічної безпеки під час проведення робіт із запобігання, моніторингу та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру.

**Оригінальність.** Результати дослідження можуть бути використані при розробці рекомендацій щодо вибору оптимального розміщення УАК та їх інфраструктури на території України в контексті реформування та скорочення чисельності авіації. Обґрунтований вибір ділянки території області для розміщення ОАК підвищить рівень техногенно-екологічної безпеки під час проведення робіт із запобігання, моніторингу та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру.

**Практична цінність.** Таким чином, приклад практичного застосування методики обґрунтування необхідної чисельності сил і засобів екологічного моніторингу оперативних зон і районів бойових дій здійснюється за критерієм мінімальної чисельності сил і засобів, що використовуються, за умови, що виконано повний обсяг моніторингових робіт. У статті подано математичну постановку задачі на розробку методики та приклад її розрахунку для визначення місця розміщення мобільних екологічних лабораторій з використанням безпілотних авіаційних комплексів.

**Ключові слова:** методологія; екологічний моніторинг; БПЛА; оптимізація; ПНО; ОКІ.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.4.3>

УДК 654.026

ПАВЛЮЧЕНКО В. А., МАКАРЕНКО В. В.

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

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ WI-FI У ТРАНСПОРТНІЙ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ТРАНСПОРТУ ТА ПІШОХОДІВ

**Мета.** Провести аналіз можливості застосування технології W-Fi у транспортній мережі міста в цілях підвищення безпеки руху пішоходів та транспортних засобів і зробити висновки щодо доцільності використання даної технології у транспортній мережі.

**Методика.** Моделювання міської інфраструктури та аналіз розповсюдження рівня сигналу у програмному симуляторі Altair WinProp. Проведення аналізу якості каналу передачі даних шляхом тестування втрат пакетів та пропускної здатності при різних рівнях сигналу. Аналіз якості передачі даних при різних рівнях сигналу проведено за допомогою Wi-Fi роутера Mikrotik та ноутбуку з Wi-Fi модулем.

**Результати.** В результаті дослідження виконано моделювання міської інфраструктури для аналізу розповсюдження рівня сигналу від точок доступу Wi-Fi. Проведено аналіз розповсюдження рівня сигналу від точок доступу Wi-Fi в програмному симуляторі Altair WinProp. В ході дослідження встановлено, що для побудови надійної «безшовної» мережі необхідно створити покриття, в якому рівень сигналу був не меншим за -70 дБм. Встановлено, що чотирьох точок доступу Wi-Fi, з потужністю передавача +21 дБм, що встановлені на відстані близько 50 м одна від одної буде достатньо для того, щоб забезпечити надійним зв'язком учасників дорожнього руху на відстані до 50 м від перехрестя.

**Наукова новизна.** Знайдено граничний рівень сигналу від точки доступу Wi-Fi, при якому кількість втрат пакетів буде мінімальною, для побудови «безшовного» покриття для транспортної мережі. Проаналізовано доцільність використання технології Wi-Fi для транспорту та пішоходів у smart-місті.

**Практична значимість.** Результати дослідження та моделювання розповсюдження рівня сигналу від точок доступу Wi-Fi можна використати при створенні «безшовного» покриття для транспортної інфраструктури smart-міста.

**Ключові слова:** IoT; технологія Wi-Fi; рівень сигналу; безшовний зв'язок; точка доступу Wi-Fi; покриття.

**Вступ.** Технології світу Інтернету речей або IoT (Internet of Things) стрімко розвиваються та займають передові позиції при побудові нових інтелектуальних систем безпеки. «Розумні будинки» та «розумна техніка» дозволяють уникати пожеж, завчасно попереджають про небезпеку та захищають будинок від шахраїв. Однак наразі існує дуже багато аварій на дорогах, в яких страждають як водії так і пішоходи. Більшість дорожньо-транспортних пригод можна було б уникнути, якщо б пішохід або водій були завчасно попереджені про можливу небезпеку зіткнення. Технології IoT, такі як DSRC (Dedicated Short Range Communication) можуть створювати mesh-мережу з пристроїв, що встановлені в транспортних засобах та дорожній інфраструктурі, проте пішоходи будуть невидимі для даної мережі DSRC, а отже буде небезпека аварії при переході дороги пішоходом. Оскільки наразі у 99% пішоходів є смартфон з Wi-Fi модулем доцільно розглянути можливість застосування технології Wi-Fi в якості технології для упередження зіткнення пішоходів і транспортних засобів.

**Аналіз попередніх досліджень.** Навіть при наявності пішохідного переходу, перехід через дорогу не завжди є безпечним, оскільки пішоходи дуже часто потрапляють до «сліпих зон» транспортних засобів. Транспортні засоби, що запарковані дуже близько до пішохідних

переходів з порушенням правил дорожнього руху, дуже часто стають причинами раптової появи пішохода в зоні видимості інших учасників дорожнього руху, через що може статися аварія. Задля безпечного пересування транспортного засобу та переходу дороги пішоходом необхідно, щоб всі учасники дорожнього руху мали інформацію про місцезнаходження один одного.

Дослідження [1] показано, що при швидкості транспортних засобів до 80 км/год немає суттєвого впливу на затримки передавання пакетів технологій Wi-Fi та DSRC, отже технологія Wi-Fi може використовуватися у міських умовах, де швидкість транспортних засобів не перевищує показника у 80 км/год. У роботі [2] досліджено, що при швидкості близько 80 км/год швидкість передавання даних по Wi-Fi падає до 1 Мбіт/с, проте цієї швидкості буде цілком достатньо для обміну даними у транспортній мережі. Технологія Wi-Fi може виявляти місцезнаходження об'єктів завдяки моніторингу рівня сигналу від пристроїв [3, 4], завдяки цьому можна виявляти координати пішоходів та транспортних засобів без залучення GPS сервісів. У дослідженні [5] виявлено, що технологія Wi-Fi програє технології DSRC у швидкості з'єднання пристроїв та у затримці передавання пакетів даних, проте має більшу пропускну здатність, що можна використати як значну перевагу у місцях скупчення людей, особливо на пішохідних переходах. Проведений аналіз наукових статей по розвантаженню Wi-Fi мереж через стільниковий зв'язок у роботах [6-8] показав, що Wi-Fi мережу можна розвантажити у складних випадках в місцях великого скупчення людей. У роботі [9] запропоновано метод об'єднання технологій Wi-Fi та WiMax, що дає змогу з'єднати ці технології в одну спільну мережу. В рамках дослідження [10] представлено гібридну систему DSRC/Wi-Fi та експериментально оцінено її продуктивність. В результаті дослідження [11] було з'ясовано, що покриття однієї точки доступу буде достатньо для забезпечення неперервним зв'язком протягом 10 с транспортний засіб, що рухається зі швидкістю 180 км/год. Однак було встановлено, що на границях зон покриття з'являється проблема з великими втратами пакетів через ослаблений сигнал від точки доступу. Поки транспортний засіб з'єднається з іншою точкою він подолає велику відстань, через що на деякий час зникне з видимості інших пристроїв транспортної системи, що може привести до виникнення аварійної ситуації.

**Постановка завдання.** Запропоновано організувати «безшовне» покриття для забезпечення надійного зв'язку вздовж доріг між пристроями Wi-Fi, що встановлені на транспортних засобах та у пішоходів. «Безшовна» мережа Wi-Fi дозволить уникнути втрат часу при переключенні між точками доступу Wi-Fi і зменшить ризики зіткнення на дорогах. При побудові безшовного покриття на дорозі та тротуарі необхідно розрахувати оптимальну відстань між точками доступу Wi-Fi та мінімальний рівень сигналу, при якому якість каналу передавання даних буде достатньою для надійного зв'язку.

**Результати дослідження.** З'єднання пристроїв Wi-Fi з точкою доступу складає приблизно 2 с. Отже, коли транспортний засіб виїжджає з зони дії Wi-Fi точки йому треба приблизно 2 с, щоб організувати зв'язок з наступною точкою доступу. При швидкості 50 км/год за 2 с транспортний засіб встигне проїхати приблизно 28 м без надання інформації про своє місцезнаходження, напрямок та швидкість руху, що може привести до виникнення аварійної ситуації. Для усунення цієї проблеми пропонується організувати безшовне покриття Wi-Fi вздовж дороги. При безшовному покритті переключення між точками доступу відбувається приблизно за 50 мс, що дає змогу не втрачати зв'язок між пристроєм пішохода/транспортного засобу та точкою доступу. Приклад організації безшовного зв'язку Wi-Fi вздовж дороги наведено на рис. 1.

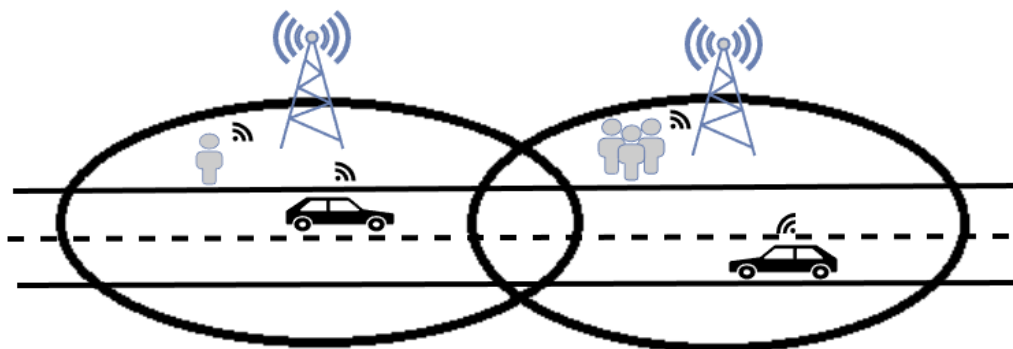


Рис. 1. Приклад організації безшовного зв'язку Wi-Fi вздовж дороги

Як випливає з рис. 1 транспортні засоби, що рухаються по дорозі та пішоходи, що йдуть вздовж дороги, не будуть виходити з зони покриття точок доступу Wi-Fi. Згідно з принципом роботи безшовного Wi-Fi, якщо пристрій буде знаходитись у зоні перетину покриття від декількох точок, то пристрій буде підключатися до тієї точки доступу, від якої рівень сигналу буде найвищим.

Для проведення дослідження були використані характеристики стандартної точки доступу Wi-Fi з підтримкою стандарту 802.11ac для встановлення поза зоною будівлі:

- антени з круговою діаграмою спрямованості;
- максимальна вихідна потужність передавача +21 дБм;
- максимальне підсилення антени +3 дБм;
- чутливість приймача -90 дБм;
- робочі діапазони частот 2.4 та 5 ГГц.

Навіть при перевазі 2.4 ГГц діапазону Wi-Fi у дальності розповсюдження сигналу, дослідження проведено для діапазону частот Wi-Fi 5 ГГц. Цей діапазон обрано оскільки у ньому менше завад у міському середовищі, а також більше каналів передавання даних, частотні діапазони яких не перекриваються один з одним. Більшість сучасних пристроїв Wi-Fi пішоходів та водіїв підтримують роботу в діапазоні 5 ГГц.

Схема перехрестя на якому проводилось тестування розповсюдження сигналу наведена на рис. 2.

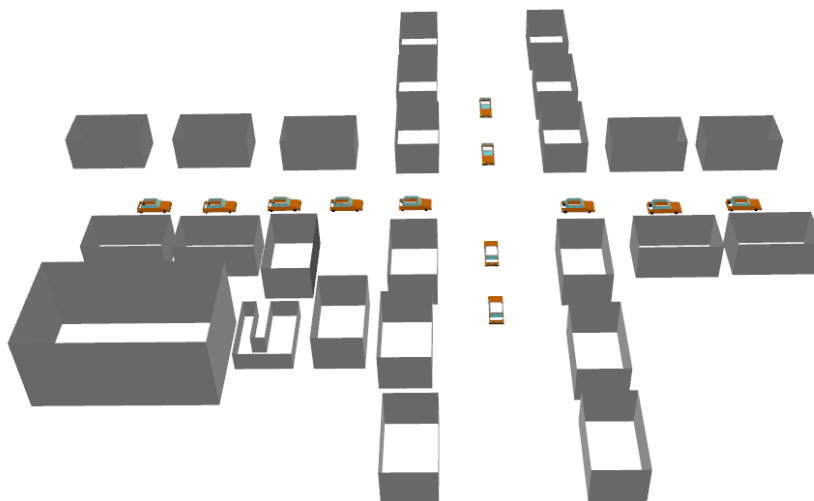


Рис. 2. Схема перехрестя для тестування розповсюдження сигналу від точок доступу Wi-Fi для безшовного покриття ділянки дороги

Для організації надійного зв'язку і забезпечення високого рівня сигналу встановлено 4 точки доступу таким чином, щоб зона перетину електромагнітних полів проходила поза межами розташування будинків, тобто посередині вулиць. Враховуючи, що чутливість приймача Wi-Fi найчастіше не перевищує  $-90$  дБм, необхідно, щоб в точках перетину полів рівень сигналу не нижче  $-80$  дБм для уникнення роз'єднання пристроїв з точками доступу Wi-Fi. Враховуючи вихідну потужність передавача точок доступу, відстань між ними при якій на перетині зон дії рівень сигналу не менше за  $-80$  дБм, буде дорівнювати приблизно  $120$  м. Ця відстань отримана шляхом моделювання розповсюдження сигналів від точок доступу на перехресті у програмному середовищі Altair WinProp.

Аналіз отриманого шляхом моделювання розповсюдження рівня сигналу від точок доступу Wi-Fi наведено на рис. 3.

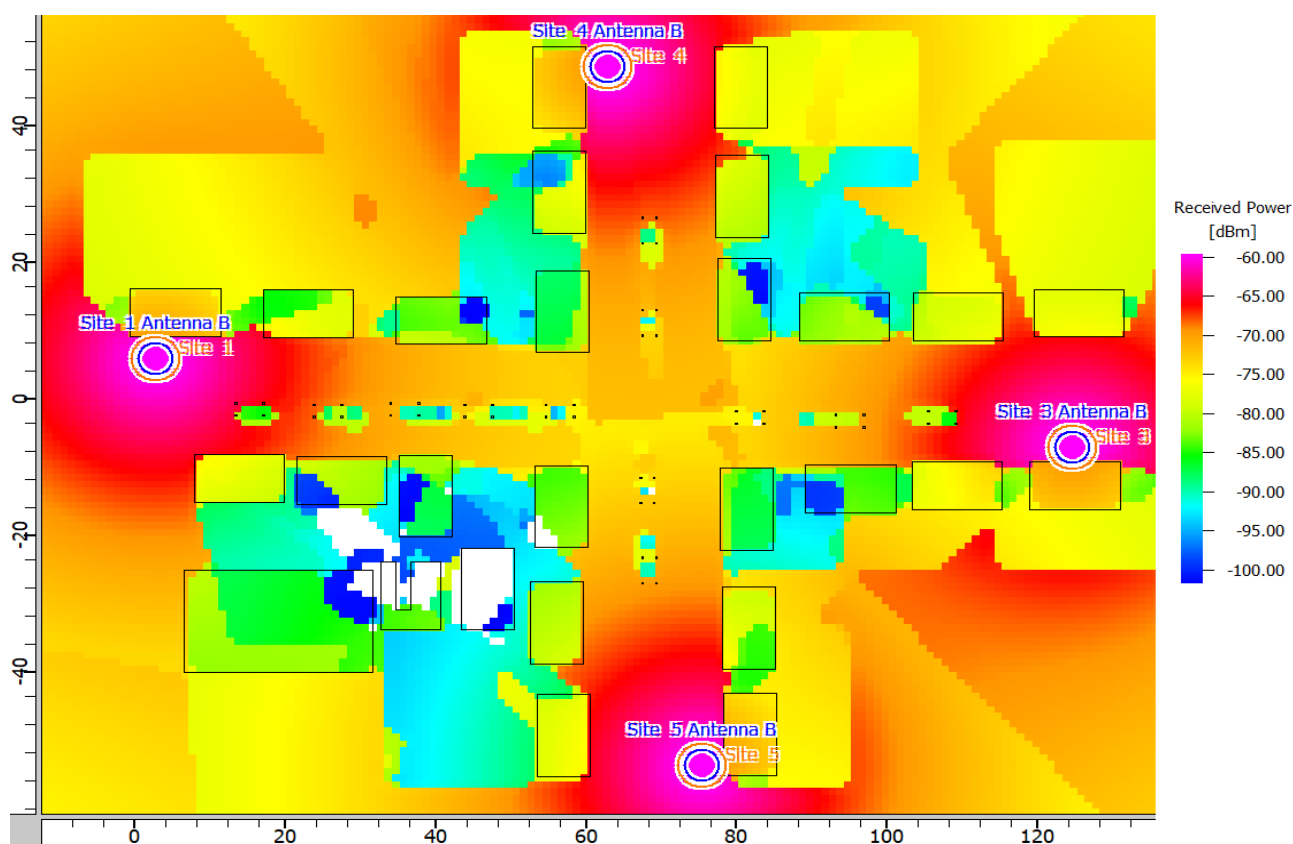


Рис. 3. Розповсюдження рівня сигналу від точок доступу Wi-Fi вздовж доріг на перехресті

Як випливає з рис. 3, вздовж доріг, що перетинаються на перехресті, організовано безшовний Wi-Fi зв'язок з рівнем сигналу не менше ніж  $-80$  дБм. На перехресті, у місці, де перетинаються зони дії усіх точок доступу рівень сигналу знаходиться на рівні  $-73...-78$  дБм.

За допомогою точки доступу Wi-Fi Mikrotik та ноутбуку з Wi-Fi модулем проведено тестування втрат в каналі передавання даних при рівні сигналу  $-73...-78$  дБм. Спостереження за зміною рівня сигналу проводилося через Web-інтерфейс точки доступу Wi-Fi. Результати перевірки наведені на рис. 4.

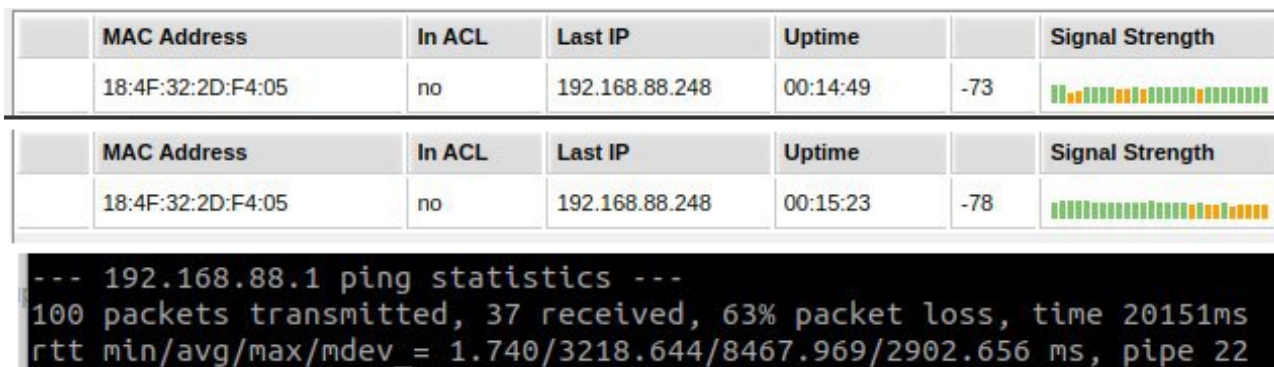


Рис. 4. Результат перевірки якості каналу передавання даних при рівні сигналу від точки доступу в діапазоні -73...-78 дБм

Як впливає з рис. 4 при коливанні рівня сигналу в діапазоні -73...-78 наявність втрат в каналі передавання даних становила у найгіршому випадку 63%, а середня затримка доставки пакетів зростає до 3.218 с, що є показником дуже поганої якості зв'язку. Тестування втрат і затримок в каналі передавання даних проводилося командою ping від ноутбуку з Wi-Fi модулем до точки доступу Wi-Fi Mikrotik. Розмір пакета даних становив – 64 біт.

При таких параметрах пропускна здатність каналу передавання даних впала з 95 Мбіт/с при рівні сигналу близько -66 дБм до 30...100 кбіт/с при рівні сигналу -73...-78 дБм, а іноді опускалася до позначки у 0 біт/с. Перевірка пропускної здатності каналу проводилася за допомогою утиліти iperf3 в 1 потік. В якості сервера виступав персональний комп'ютер, що знаходиться в одній локальній мережі з ноутбуком через який проводилося тестування якості каналу. Результат тестування пропускної здатності каналу при рівні сигналу -73...-78 дБм наведено на рис. 5.

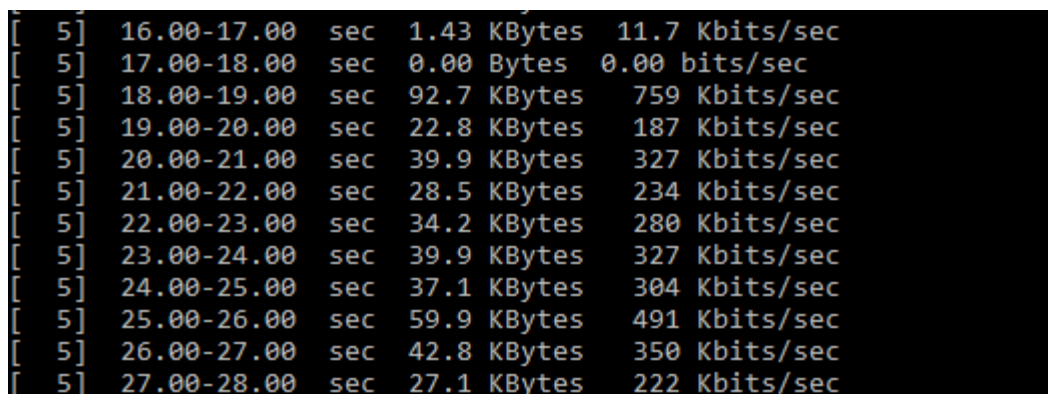


Рис. 5. Результат тестування пропускної здатності каналу при рівні сигналу -73...-78 дБм

Оскільки при рівні сигналу -73...-78 дБм на перехресті можуть виникати втрати в каналі передавання даних, необхідно виявити мінімальний рівень сигналу при якому в каналі передавання даних не буде втрат пакетів. Виявлено, що при рівні сигналу -65...-70 дБм зберігається належна якість передавання даних без втрат. Результат перевірки каналу передавання даних при рівні сигналу -65...-70 дБм наведено на рис. 6.

MAC Address	In ACL	Last IP	Uptime		Signal Strength
18:4F:32:2D:F4:05	no	192.168.88.248	00:56:21	-65	
MAC Address	In ACL	Last IP	Uptime		Signal Strength
18:4F:32:2D:F4:05	no	192.168.88.248	00:57:35	-70	

```

--- 192.168.88.1 ping statistics ---
100 packets transmitted, 100 received, 0% packet loss, time 19893ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.809/2.840/46.327/5.212 ms
    
```

Рис. 6. Результат перевірки якості каналу при рівні сигналу у -65...-70 дБм

Оскільки рівень сигналу в діапазоні -73...-78 дБм на перехресті призводить до великої кількості втрачених пакетів, необхідно переглянути відстань між точками доступу для підвищення рівня сигналу. Відстань між точками доступу зменшено до 50 м. Результат розподілу рівня сигналу при відстані 50 м між точками доступу наведено на рис. 7. Моделювання розповсюдження рівня сигналу було проведено в програмі Altair WinProp.

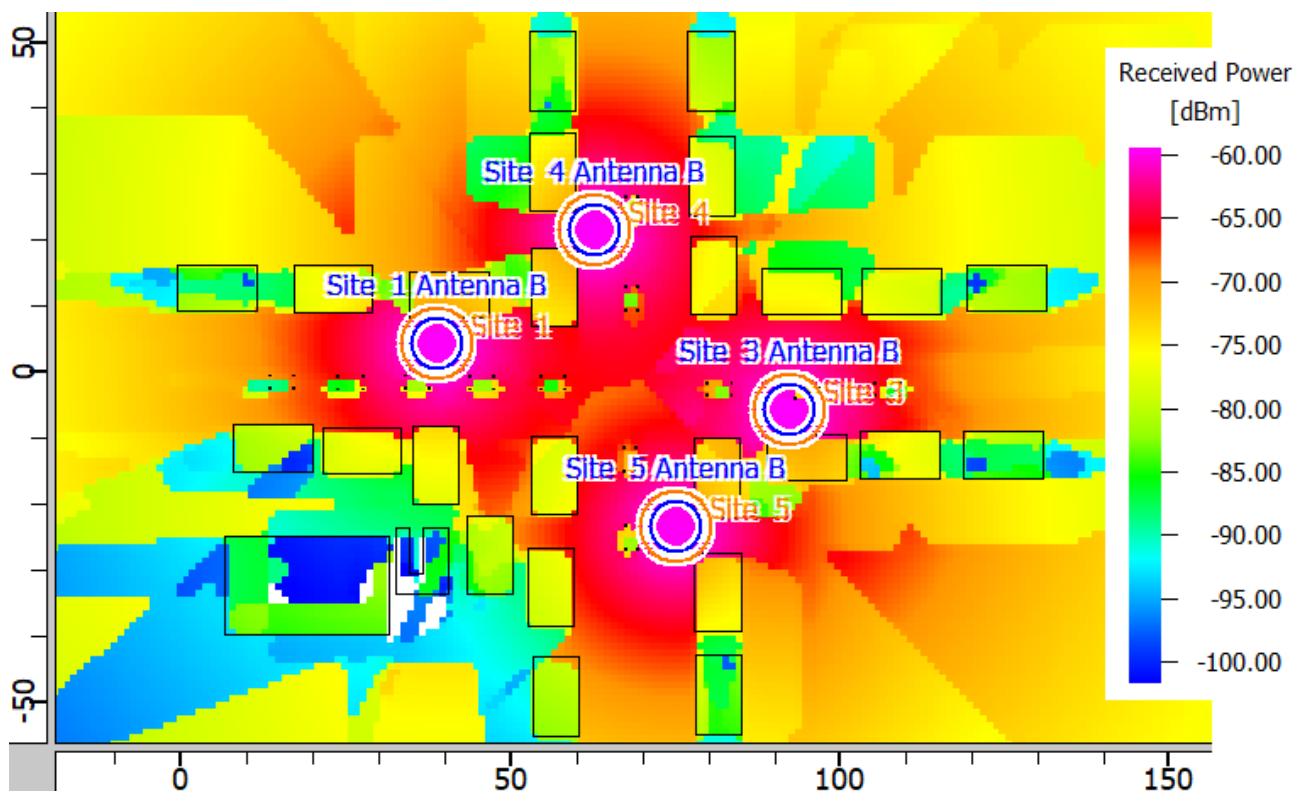


Рис. 7. Розподіл рівня сигналу при відстані 50 м між точками доступу

Як випливає з рис. 7 рівень сигналу на перехресті та вздовж дороги знаходиться на рівні не менше за -70 дБм. Цього рівня сигналу цілком достатньо для того, щоб пристрої, що встановлені на транспортних засобах, що пересуваються по дорозі та пішоходи, які знаходяться на тротуарі були забезпечені безперервним зв'язком з точками доступу Wi-Fi.

На рис. 8 наведено розповсюдження сигналу на перехресті з рівнем сигналу не меншим за -70 дБм.

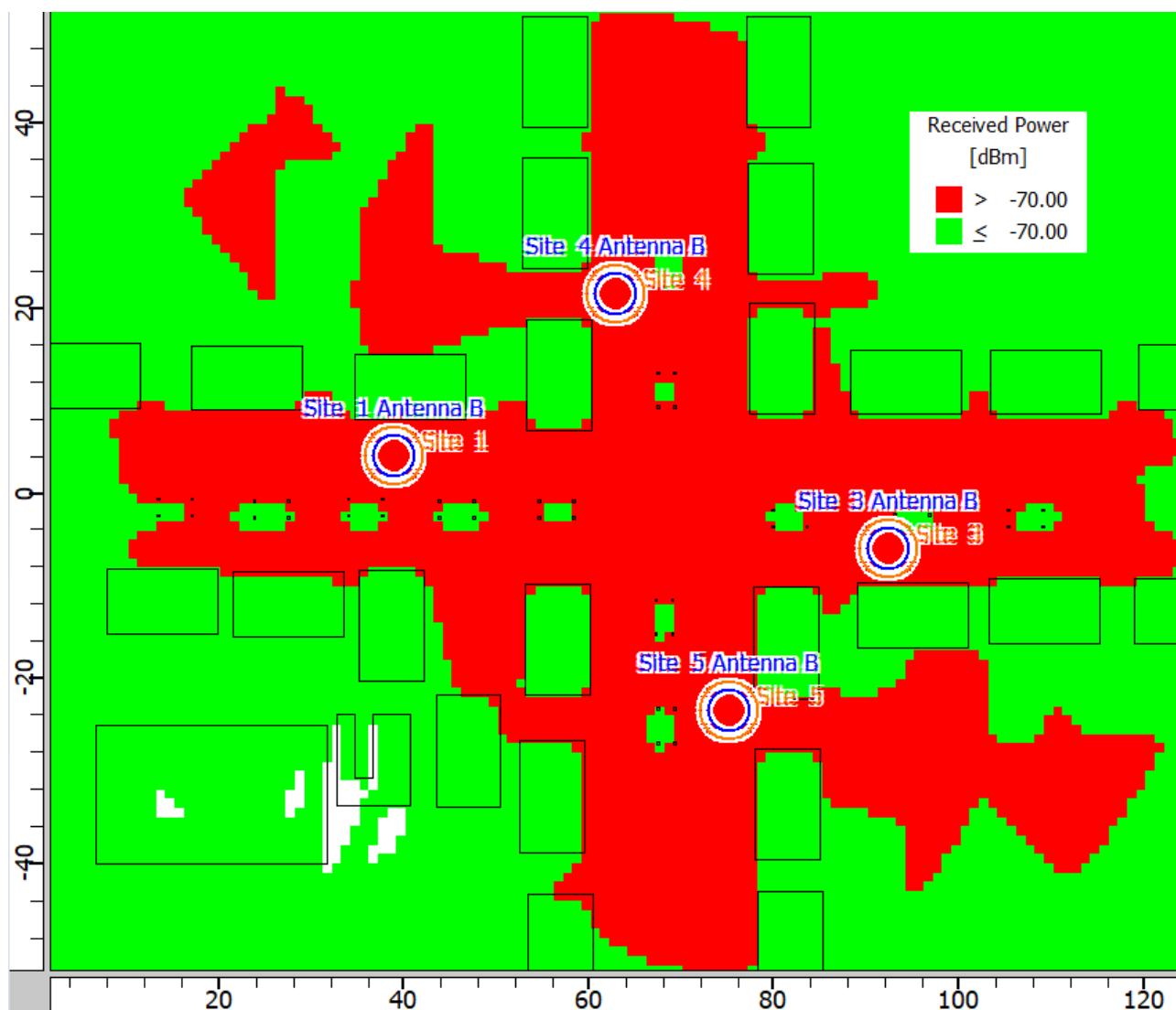


Рис. 8. Розповсюдження сигналу на перехресті з рівнем сигналу не меншим за -70 дБм

Як випливає з рис. 8 рівень сигналу більший за -70 дБм забезпечується на відстані до 100 м від перехрестя на будь-якому напрямку. З цього можна зробити висновок, що чотирьох точок доступу Wi-Fi, з потужністю передавача +21 дБм, що встановлені на відстані близько 50 м одна від одної буде достатньо для того, щоб забезпечити надійним зв'язком учасників дорожнього руху на відстані до 50 м від перехрестя.

Результати моделювання показують, що при потраплянні в зону покриття від Wi-Fi точки, транспортний засіб або пішохід може здійснювати безперервний обмін інформацією про своє місцезнаходження, напрямок та швидкість руху. Завдяки безшовному покриттю технологія Wi-Fi компенсує свій мінус у швидкості з'єднання між пристроями, що дає змогу використовувати її як альтернативу технології DSRC на деяких ділянках руху.

**Висновки.** Результати дослідження розповсюдження поля сигналу від точок доступу Wi-Fi показали, що для впевненого і швидкого зв'язку між пристроями Wi-Fi необхідно забезпечити рівень сигналу у приймальній антені не менше ніж -70 дБм.

При проектуванні безшовного Wi-Fi покриття для транспортних засобів та пішоходів, необхідно встановлювати Wi-Fi точки доступу на такій відстані, що забезпечить у місцях перетину зон покриття точок доступу рівень сигналу не менший за -70 дБм. З урахуванням того, що при наявності опадів та густого туману загасання в каналі передавання даних значно

зростає, доцільно зменшувати відстань між точками доступу для забезпечення у найгіршому випадку рівня сигналу у приймальній антені не менше ніж -60...65 дБм.

З'ясовано, що для точок доступу з потужністю передавача 21 дБм та ненаправленими антенами, при відстані між ними 50 м забезпечується безшовне Wi-Fi покриття доріг та тротуарів на відстані до 50 м з рівнем сигналу не меншим за -70 дБм.

В результаті проведеного дослідження встановлено, що незважаючи на те що технологія Wi-Fi забезпечує меншу швидкість з'єднання між пристроями, ніж технологія DSRC, при організації безшовного Wi-Fi покриття можна компенсувати цю ваду даної технології завдяки тому, що пристроям Wi-Fi не треба щоразу встановлювати з'єднання з точкою доступу, поки вони знаходяться в зоні дії безшовного покриття. Таким чином технологію Wi-Fi можна використовувати для оповіщення про місцезнаходження транспортних засобів та пішоходів на небезпечних ділянках руху.

### References

### Література

1. Shuhaimi, N. I., Heriansyah, Juhana, T. (2015). Comparative Performance Evaluation of DSRC and Wi-Fi Direct in VANET. *4th International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering (ICICI-BME)*. P. 298–303. DOI: 10.1109/ICICI-BME.2015.7401382.
2. Tufail, A., Fraser, M., Hammad, A., Kim, K.-H., Yoo, S.-W. (2008). An empirical study to analyze the feasibility of WI-FI for VANETs. *Proceedings of the 2008 12th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, CSCWD*. P. 553-558. DOI: 10.1109/CSCWD.2008.4537038.
3. Jiantong, C., Ling, Y., Yong, L., Weihua, Z. (2014). Seamless outdoor/indoor navigation with WI-FI/GPS aided low cost. *Physical Communication*. P. 1–28. DOI: 10.1016/j.phycom.2013.12.003.
4. Ahmeda, F., Phillips, M., Phillips, S., Kima, K.-Y. (2021). Comparative Study of Seamless Asset Location and Tracking Technologies. *30th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2021)*. P. 1138–1145. DOI: doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.160.
5. Fitah, A., Badri, A., Moughit, M., Sahel, A. (2018). Performance of DSRC and WI-FI for Intelligent Transport Systems in VANET. *Procedia Computer Science*. P. 360–368. DOI: 10.1016/j.procs.2018.01.133.
6. Cheng, N., Lu, N., Zhang, N., Shen, X. (S.), Mark, J. W. (2014). Vehicular Wi-Fi offloading: Challenges and solutions. *Vehicular Communications*, P. 13–21. DOI: 10.1016/j.vehcom.2013.11.002.
7. Dimatteo, S., Hui, P., Han, B., Li, V. O. K. (2011). Cellular Traffic Offloading through Wi-Fi Networks. *IEEE 8th International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems*, Valencia, P. 192–201. DOI: 10.1109/MASS.2011.26.
1. Shuhaimi N. I., Heriansyah, Juhana T. Comparative Performance Evaluation of DSRC and Wi-Fi Direct in VANET. *4th International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering (ICICI-BME)*. 2015. P. 298–303. DOI: 10.1109/ICICI-BME.2015.7401382.
2. Tufail A., Fraser M., Hammad A., Kim K.-H., Yoo S.-W. An empirical study to analyze the feasibility of WI-FI for VANETs. *Proceedings of the 2008 12th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, CSCWD*. 2008. P. 553–558. DOI: 10.1109/CSCWD.2008.4537038. DOI: 10.1016/j.phycom.2013.12.003.
3. Jiantong C., Ling Y., Yong L., Weihua Z. Seamless outdoor/indoor navigation with WI-FI/GPS aided low cost. *Physical Communication*. 2014. P. 1–28. DOI: 10.1016/j.phycom.2013.12.003.
4. Ahmeda F., Phillips M., Phillips S., Kima K.-Y. Comparative Study of Seamless Asset Location and Tracking Technologies. *30th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2021)*. 2021. P. 1138–1145. DOI: doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.160.
5. Fitah A., Badri A., Moughit M., Sahel A. Performance of DSRC and WI-FI for Intelligent Transport Systems in VANET. *Procedia Computer Science*. 2018. P. 360–368. DOI: 10.1016/j.procs.2018.01.133.
6. Cheng N., Lu N., Zhang N., Shen X. (S.), Mark J. W. Vehicular Wi-Fi offloading: Challenges and solutions. *Vehicular Communications*. 2014. P. 13–21. DOI: 10.1016/j.vehcom.2013.11.002.
7. Dimatteo S., Hui P., Han B., Li V. O. K. Cellular Traffic Offloading through Wi-Fi Networks. *IEEE 8th International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems*. Valencia: 2011. P. 192–201. DOI: 10.1109/MASS.2011.26.

8. Cheng, R.-S., Huang, C.-M., Pan, S.-Y. (2018). Wi-Fi offloading using the device-to-device (D2D) communication paradigm based on the Software Defined Network (SDN) architecture. *Journal of Network and Computer Applications*, P. 1–12. DOI: 10.1016/j.jnca.2018.03.014.
9. Chen, Y.-C., Hsia, J.-H., Liao, Y.-J. (2021). Advanced seamless vertical handoff architecture for WiMAX and Wi-Fi heterogeneous networks with QoS guarantees. *Computer Communications*, P. 281–293. DOI: 10.1016/j.comcom.2008.10.014.
10. Wickramarachchi, T., Dias, D., Samarasinghe, T., Gokull, N. (2022). Evaluation of DSRC/Wi-Fi Hybrid Communications for Intelligent Transport Systems. *2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, P. 3509–3514. DOI: 10.1109/ITSC55140.2022.9922307.
11. Ott, J., Kutscher, D. (2004). Drive-thru Internet: IEEE 802.11b for "Automobile" Users. *Proceedings – IEEE INFOCOM*, P. 373.
8. Cheng R.-S., Huang C.-M., Pan S.-Y. Wi-Fi offloading using the device-to-device (D2D) communication paradigm based on the Software Defined Network (SDN) architecture. *Journal of Network and Computer Applications*. 2018. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.jnca.2018.03.014.
9. Chen Y.-C., Hsia J.-H., Liao Y.-J. Advanced seamless vertical handoff architecture for WiMAX and Wi-Fi heterogeneous networks with QoS guarantees. *Computer Communications*. 2021. P. 281–293. DOI: 10.1016/j.comcom.2008.10.014.
10. Wickramarachchi T., Dias D., Samarasinghe T., Gokull N. Evaluation of DSRC/Wi-Fi Hybrid Communications for Intelligent Transport Systems. *2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 2022. P. 3509–3514. DOI: 10.1109/ITSC55140.2022.9922307.
11. Ott J., Kutscher D. Drive-thru Internet: IEEE 802.11b for "Automobile" Users. *Proceedings – IEEE INFOCOM*. 2004. P. 373.

**Pavliuchenko Vladyslav**

Postgraduate student, Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-7481-9719>  
E-mail: [pva20200929-ames24@iit.kpi.ua](mailto:pva20200929-ames24@iit.kpi.ua)

**Makarenko Volodymir**

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Associate Professor, Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1232-5198>  
Scopus Author ID: 57189323242  
Researcher ID: I-1835-2017  
E-mail: [mvv00610-ames@iit.kpi.ua](mailto:mvv00610-ames@iit.kpi.ua)

**PAVLIUCHENKO V. A., MAKARENKO V. V.**

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

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING WI-FI TECHNOLOGY IN THE TRANSPORT NETWORK TO IMPROVE TRAFFIC AND PEDESTRIAN SAFETY**

**Purpose.** Conduct an analysis of the possibility of using W-Fi technology in the city's transport network in order to improve the safety of pedestrians and vehicles and draw conclusions about the feasibility of using this technology in the transport network.

**Methodology.** Urban infrastructure modeling and signal level propagation analysis in the Altair WinProp software simulator. Conducting data channel quality analysis by testing packet loss and bandwidth at different signal levels. Analysis of the quality of data transmission at different signal levels was carried out using a Mikrotik Wi-Fi router and a laptop with a Wi-Fi module.

**Findings.** As a result of the research, modeling of the city infrastructure was performed to analyze the spread of the signal level from Wi-Fi access points. The analysis of signal level propagation from Wi-Fi access points was carried out in the Altair WinProp software simulator. In the course of the research, it was established that in order to build a reliable "seamless" network, it is necessary to create a coverage in which the signal level was not less than -70 dBm. It has been established that four Wi-Fi access points, with a transmitter power of +21 dBm, installed at a distance of about 50 m from each other will be sufficient to ensure reliable communication of road users at a distance of up to 50 m from the intersection.

**Originality.** The limit level of the signal from the Wi-Fi access point, at which the number of packet losses will be minimal, was found for the construction of a "seamless" coverage for the transport network. The feasibility of using Wi-Fi technology for transport and pedestrians in a smart city is analyzed.

**Practical value.** The results of research and modeling of signal level propagation from Wi-Fi access points can be used to create a "seamless" coverage for the transport infrastructure of a smart city.

**Keywords:** IoT; Wi-Fi technology; signal level; seamless connection; Wi-Fi access point; W-Fi coverage.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.4.4>

УДК 658.589:  
687.052

РУБАНКА М. М., КОВАЛЬОВ Ю. А., РУБАНКА А. І.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ: ОБЛАДНАННЯ ПІДГОТОВЧОГО ЦЕХУ

**Мета.** Системний пошук раціональних та ефективних рішень технологічного процесу підготовчого цеху швейного підприємства, в тому числі за рахунок впровадження сучасного інноваційного обладнання.

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

**Результати.** Встановлено, що розширення асортименту швейних виробів, стрімке впровадження новітніх матеріалів та методів обробки призводить до необхідності часткової або повної модернізації швейних підприємств, в тому числі і підготовчого цеху швейного підприємства, за рахунок впровадження як удосконалених методів організації виробничого процесу, так і впровадження новітнього інноваційного обладнання. Розроблено узагальнену класифікаційну схему типового обладнання підготовчого цеху швейного виробництва, що дозволяє умовно класифікувати обладнання підготовчого цеху на обладнання для подачі матеріалів у цех зі складу матеріалів, обладнання для транспортно-логістичних систем на складі з одно- та багатоярусними стелажми, обладнання для переміщення матеріалів між ділянками цеху та обладнання для проміру та розбракування матеріалів; встановлено основні вимоги до обладнання, що використовується в технологічному процесі підготовчого цеху швейного підприємства; визначено шляхи можливого удосконалення підготовчого цеху швейного підприємства.

**Наукова новизна.** Проведено системний аналіз обладнання, що використовується у підготовчих цехах швейних підприємств. Запропоновано класифікацію типового обладнання підготовчого цеху швейного виробництва. Зазначено перспективні напрямки розвитку завдяки використанню інноваційних технологій, зокрема автоматизації та роботизації. Встановлено, що впровадження сучасного інноваційного обладнання суттєво підвищує ефективність роботи підготовчого цеху.

**Практична значимість.** Одержані результати досліджень можуть бути використані при проектуванні, частковому оновленні та повній модернізації підготовчих цехів швейних підприємств, що призведе до підвищення продуктивності праці.

**Ключові слова:** технологічний процес; підготовчий цех; швейне підприємство; обладнання підготовчого цеху; склад; вантаж.

**Вступ.** Будь-яке швейне підприємство ставить за мету створення високоякісної, конкурентоспроможної продукції, яка в повній мірі здатна задовольнити потреби населення. При цьому має приділятися значна увага підвищенню технологічності всіх процесів, що відбуваються в цехах даного підприємства. Підготовчий цех типового швейного підприємства не є виключенням, і є однією з найголовніших артерій успішного функціонування загальної системи виготовлення виробів. Удосконалення та оновлення парку існуючого обладнання, автоматизація певних етапів виробництва, підвищення енергоефективності технологічних процесів, раціональне використання відходів матеріалів виробництва, покращення умов праці, опанування нових технологій виготовлення виробів є запорукою розвитку сучасного швейного підприємства.

Зазначена політика раціонального господарювання забезпечує створення «здорової» конкуренції на ринку швейних товарів українського виробництва [1].

**Постановка завдання.** Швейна промисловість України є галуззю, що стрімко розвивається, в тому числі в умовах війни. Стрімка зміна асортиментного ряду, поява нових матеріалів та фурнітури, методів обробки зумовлює необхідність системного пошуку

ефективних рішень як за рахунок зміни організаційної структури окремих цехів та підприємства в цілому, так і за рахунок впровадження сучасного інноваційного обладнання, в тому числі автоматизованого та роботизованого.

**Результати дослідження.** Основними завданнями підготовчого цеху швейного виробництва є стабільне та ритмічне забезпечення матеріалами розкрійного цеху у відповідності до планування виробничих потужностей [2].

До типового обладнання підготовчого цеху швейного виробництва можна віднести:

- обладнання для подачі матеріалів у підготовчий цех зі складу матеріалів (вантажні візки, вантажопідйомні гідравлічні столи ножичного типу, стрічкові та роликові конвеєри, перекидачі);

- обладнання для транспортно-логістичних систем на складі з одно- та багатоярусними стелажми (штабелери, самохідні вилочні електронавантажувачі, канатні електричні тельфери, крани-штабелери);

- обладнання для переміщення матеріалів між ділянками цеху (вантажні візки, вантажопідйомні гідравлічні столи ножичного типу, стрічкові та роликові конвеєри, перекидачі);

- обладнання для проміру та розбракування матеріалів (перемотувальні машини, промірювально-розбракувальні машини).

Робота будь-якого виробництва неможлива без спеціального обладнання для перевезення вантажів. Підбирати різні види вантажно-розвантажувальної та транспортної техніки варто виходячи з особливостей вантажу та умов роботи [3].

Вантажні візки по праву можна вважати незамінним атрибутом підготовчого цеху швейного підприємства. Більшість операцій пов'язаних з переміщенням (транспортуванням) об'єктів виробництва передбачають використання саме даного виду обладнання. Вантажні візки дають можливість транспортувати і складувати важкі вантажі з мінімальними зусиллями співробітників складів без шкоди і травм на робочих місцях [4].

В залежності від особливостей застосування, вантажопідйомності й типу конструкції виділяють такі типи вантажних візків:

- ручні (двоколісні, платформні);
- ручні гідравлічні (з вагами, з ножичним підйомом);
- електрогідравлічні;
- електричні самохідні;
- роботизовані.

Ручні вантажні візки (рис. 1) мають досить широкий спектр застосування, починаючи від великих промислових підприємств, складських комплексів, будівельних майданчиків і закінчуючи використанням в невеликих лабораторіях, медичних установах і побуті. Основне їх призначення переміщення малогабаритних і середньо-габаритних вантажів масою до 600 кг [5].

Двоколісні ручні вантажні візки (рис. 1, а) – це мобільне обладнання, яке використовуються на логістичних складах, в центрах виконання замовлень і на виробничих об'єктах для переміщення товарів з одного місця в інше. Через свою мобільності ці пристрої мають вирішальне значення на підприємствах, де товар необхідно забирати з різних місць і переміщати протягом усього виробництва [6].

Візки платформні (рис. 1, б, в) – це один з найбільш поширених і затребуваних видів транспортних пристроїв. Призначені для переміщення різноманітних вантажів масою до 600 кг. Характерні особливості – простота конструкції, легкість експлуатації і доступна ціна. Дане обладнання може використовуватися в закритих приміщеннях і відкритих майданчиках, а також дозволяють оптимізувати процеси вантажно-розвантажувальних робіт і внутрішнього переміщення вантажів [7].



Рис. 1. Ручні вантажні візки: а – двоколісний НТ 1827; б – платформний Yi-Lift XF3048; в – платформний з бортами Staxx TCZ50C

Ручні гідравлічні візки (рис. 2) використовуються для транспортування вантажів на всіх видах піддонів, в контейнерах, ящиках, боксах з палетною основою [8]. Основна перевага гідравлічних візків – простота в експлуатації, що не вимагає спеціальних навичок при роботі з ними. Використання гідравлічних візків при вантажно-розвантажувальних та транспортних роботах дозволяє значно підвищити продуктивність праці, а також суттєво полегшує процес розвантаження чи завантаження та транспортування, зменшуючи при цьому фізичне навантаження працівників. Найбільш популярна модель – візок, що призначений для транспортування європіддонів, оскільки велика частина вантажів упаковується саме на тарі такого типу [9].



Рис. 2. Візки гідравлічні (рокли): а – Leistunglift AC-25; б – Staxx DFE20; в – Skiper SKF-III 25 1150PP Profi

Ручні гідравлічні візки з вагами (рис. 3) дають можливість оператору окрім функції транспортування, зважувати з достатньою точністю піддони та палетовані вантажі. Дане обладнання дозволяє збільшити контроль при отриманні (відправки) вантажу та підвищити ефективність робочого процесу на складі [10].



Рис. 3. Ручні гідравлічні візки з вагами: а – Yi-Lift YZF20S; б – Staxx PS25; в – ВПД-ПК 1000

Ручні гідравлічні візки з ножичним підйомом (рис. 4) можуть використовуватися не лише для транспортування палетованих вантажів на складах, але й для їх підйому на невелику висоту (до 1000 мм), для проведення розподільчих і сортувальних робіт [11]. Вантажо-підйомність такого обладнання до 1500 кг.



Рис. 4. Ручні гідравлічні візки з ножичним підйомом: а – Staxx SLD 1500;  
б – Leistunglift SLTN10; в – Jungheinrich AMX 10

Електрогідравлічні вантажні візки (рис. 5) це проміжний варіант між звичайними гідравлічними візками і самохідними візками. Таке поєднання дозволяє суттєво спростити і прискорити робочий процес оператора. Процеси піднімання та опускання вил з вантажем ідентичні таким же процесам звичайних гідравлічних візків, а от процес переміщення вантажу в горизонтальній площині відбувається вже за рахунок електроприводу [12].



Рис. 5. Електрогідравлічні вантажні візки: а – Staxx PPT18H;  
б – Vulkan EPT15MH-CBVA; в – Heli CBD20J-B

Електричні самохідні вантажні візки (рис. 6) можна віднести до високотехнологічного складського обладнання, в якому підйом і переміщення палетованих вантажів здійснюється за допомогою електродвигуна, що працює від тягового акумулятора [12]. Використання даного обладнання дозволяє зменшити витрати часу на виконання складських технологічних операцій та значно полегшити роботу оператора.



Рис. 6. Електричні самохідні вантажні візки: а – Staxx RPT254;  
б – Hangcha CBD15-A2MC1; в – Heli CBD20-180

Вантажопідйомні гідравлічні столи ножичного типу (рис. 7) використовуються для швидкого переміщення вантажів, деталей та агрегатів в горизонтальній площині та по вертикалі. Зручність полягає в тому, що платформу столу, можна використовувати як верстат. Вона вільно регулюється по висоті, має досить чималу вантажопідйомність (в 350, 800 кг і більше), легко пересувається [13].

Перспективним є використання роботизованих вантажних візків (рис. 8), які дозволяють повністю автоматизувати процеси транспортування вантажів [14]. Даний вид обладнання дозволяє з високою швидкістю і точністю виконувати технологічні процеси в автоматичному режимі, тому їх застосування в складській логістиці стрімко набирає обертів [15]. Роботизовані вантажні візки оснащуються активними системами виявлення перешкод, попередження зіткнення та паркування [16].

Стрічкові конвеєри (рис. 9) – безперервні транспортні механізми, які використовуються для транспортування матеріалів у виробничому процесі. Цей вид транспортерів є найпоширенішим та знаходить своє застосування в різних сферах діяльності людини, де необхідно модернізувати процес доставки вантажів, заощадити час та сили [17, 18]. Особливістю стрічкових конвеєрів є робочий орган – стрічка, по якій транспортується вантаж [19]. В підготовчому цеху швейного підприємства для переміщення об'єктів виробництва зі складу матеріалів можуть бути використані горизонтальні стрічкові конвеєри (рис. 9, а) та стрічкові конвеєри, що розташовані під кутом (рис. 9, б).



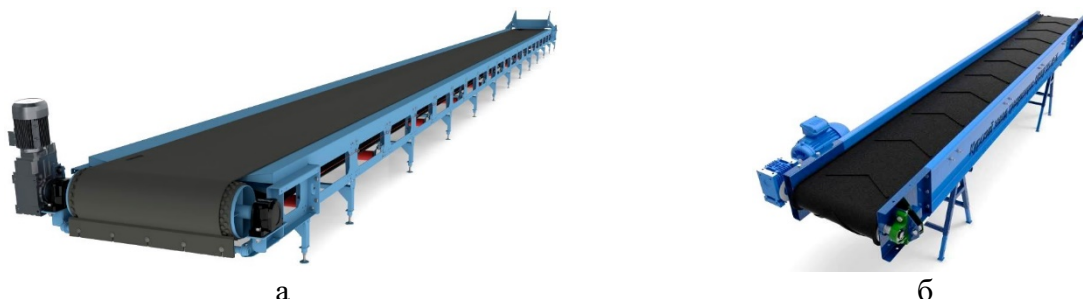
Рис. 7. Вантажопідйомні гідравлічні столи ножичного типу:  
а – Staxx LPT800; б – Yi-Lift AS50; в – Skiper SKT 350



Рис. 8. Роботизовані вантажні візки:  
а – Inatech MiR 500; б – Asseco CEIT 600LC-F; в – Casun C2-22B

Роликові конвеєри (рольганги), як правило, є невід'ємною частиною транспортно-логістичної системи сучасного швейного підприємства. Дане обладнання доцільно використовувати для внутрішнього переміщення (транспортування) штучних вантажів (коробок, ящиків, мішків, піддонів, рулонів тощо) на складах та виробничих цехах підприємств [19]. Робоча поверхня роликового конвеєра представляє собою систему роликів, що здійснюють обертальний рух в підшипниках кочення на нерухомих осях несучої рами конвеєра. При експлуатації даного обладнання потрібно враховувати, що довжина роликів завжди повинна бути більшою за ширину або діаметр вантажу, що переміщується. Відстань

між роликами має бути дещо меншою ніж половина довжини вантажу. Слід розділяти роликові конвеєри на неприводні (гравітаційні) та приводні [20, 21]. За напрямком робочої поверхні (траси) роликові конвеєри можуть бути прямі, поворотні та змієподібні.



**Рис. 9. Стрічкові конвеєри:**  
а – горизонтальний ; б – розташований під кутом

Неприводні (гравітаційні) роликові конвеєри (рис. 10, а), зазвичай, встановлюються під певним кутом нахилу (до 20 градусів). При цьому ролики мають можливість вільного обертання під дією сили ваги транспортуючого вантажу. Робітник власноруч може переміщувати вантаж по робочій поверхні роликового конвеєра не докладаючи надмірних фізичних зусиль.

На приводних роликових конвеєрах (рис. 10, б, в) певним (приводним) роликам надається обертальний рух від електродвигуна через систему механічних передач. Вантаж може переміщуватися на значні відстані без участі робітника.



**Рис. 10. Роликові конвеєри:**  
а – неприводний (гравітаційний); б – поворотний приводний; в – гнучкий приводний

Перевагою роликових конвеєрів над стрічковими є зручність завантаження та розвантаження у поперечному напрямі, а недоліком – більша металоємність та ціна.

Перекидачі – це перевантажувальні пристрої, які встановлюються між окремими видами обладнання та використовуються для завантаження та розвантаження транспортувального, складського та технологічного обладнання [22].

Штабелери – це окремий вид складської техніки, що використовується для підйому, переміщення, і укладання вантажу в декілька ярусів. Саме спроможність багаторясного укладання вантажу є відмінною рисою штабелера від вантажного візка [12, 23]. Складські штабелери можна вважати економічною альтернативою вилочним навантажувачам. Зокрема через менші габаритні розміри та вагу, даний вид обладнання може бути використано в невеликих приміщеннях, в тому числі складських приміщень підприємств легкої промисловості [24].

В залежності від конструктивних особливостей штабелери можна розділити на наступні види:

- ручні гідравлічні;
- напівелектричні (з електропідйомом);
- електричні самохідні;
- висотні штабелери з висувною щоглою.

Ручні гідравлічні штабелери (рис. 11) й надалі лишаються одним із найбільш поширених видів складської техніки. Зазвичай використовуються на невеликих складах. Ручний гідравлічний штабелер має можливість піднімати вантаж масою до 1500 кг на висоту до 3 м. Процес переміщення вантажу у вертикальній площині здійснюється за рахунок використання гідравлічного механізму, а в горизонтальній площині – за рахунок сили оператора [12].

Штабелери напівелектричні (рис. 12) відрізняються від ручних гідравлічних штабелерів наявністю електропривода для автоматизованого процесу піднімання і опускання вантажних вил [25]. Дане обладнання доцільно використовувати в тих випадках, коли переміщати вантажі ручною пересувною технікою досить складно, а на придбання самохідної на даний момент не вистачає коштів або немає великої потреби [24].



**Рис. 11. Ручні гідравлічні штабелери:**  
а – Hunlift SYC-1516; б – Leistunglift H1025; в – Vulkan SYG-1530



**Рис. 12. Штабелери напівелектричні:**  
а – Vulkan SDYG-1540; б – Cormak B1030; в – Skiper SKD 1530

Електричні самохідні штабелери (рис. 13) це повністю електрофіковане високотехнологічне складське обладнання, в якому операції по підйому, опусканню та переміщенню вантажу здійснюється за рахунок електроприводу. Вантажопідйомність такого обладнання становить до 2 тонн, а максимальна висота підйому до 6 метрів [12]. Раціональне

використання електричних самохідних штабелерів дозволяє суттєво підвищити результативність роботи, при мінімальній використанні ручної праці оператора.

Висотні штабелери з висувною щоглою (рис. 14) є різновидом складських електричних самохідних штабелерів, що мають телескопічну багатосекційну висувну щоглу і призначені для робіт зі стелажними системами заввишки від 6 метрів та вище. Висотні штабелери з висувною щоглою спроможні піднімати вантажі вагою до 2,5 т зі швидкістю до 0,6 м/с. Саме можливість роботи з високими стелажними системами (до 12 метрів) і вирізняє даний вид обладнання від решти лінійки складської техніки [26]. Джерелом живлення електропривода висотних штабелерів з висувною щоглою є тяговий акумулятор підвищеної ємності, що дозволяє використання даного обладнання впродовж тривалого режиму роботи без додаткового заряджання. Електричний двигун в повній мірі забезпечує високий рівень продуктивності та потрібні швидкісні режими роботи [27]. Сучасні висотні штабелери з висувною щоглою вирізняються своєю надійністю, енергоефективністю, функціоналом, рівнем автоматизації та при необхідності можуть бути підключені в загальну логістичну мережу складу [28].



**Рис. 13. Електричні самохідні штабелери:**  
а – Skiper SDDR15-III; б – Staxx WS15S-ei-3300; в – EP equipment ES16-RS



**Рис. 14. Висотні штабелери з висувною щоглою:**  
а – Instor FBR20S10; б – Hyundai – 16BRJ-9; в – Xilin CQD15

Самохідні виловні електронавантажувачі (рис. 15) це сучасні високопродуктивні підйомно-транспортні машини, що призначені для підняття (до 6 метрів), опускання, переміщення, розвантаження, навантаження та складування (штабелювання) палетованих вантажів (до 3,5 т) за допомогою вилоподібного захвату. Сучасні електронавантажувачі вирізняються високою ефективністю роботи, маневреністю, рівнем шуму під час виконання складських операцій тощо. Для створення конкурентоспроможного складського обладнання виробники мають застосовувати передові технології та забезпечити відповідність

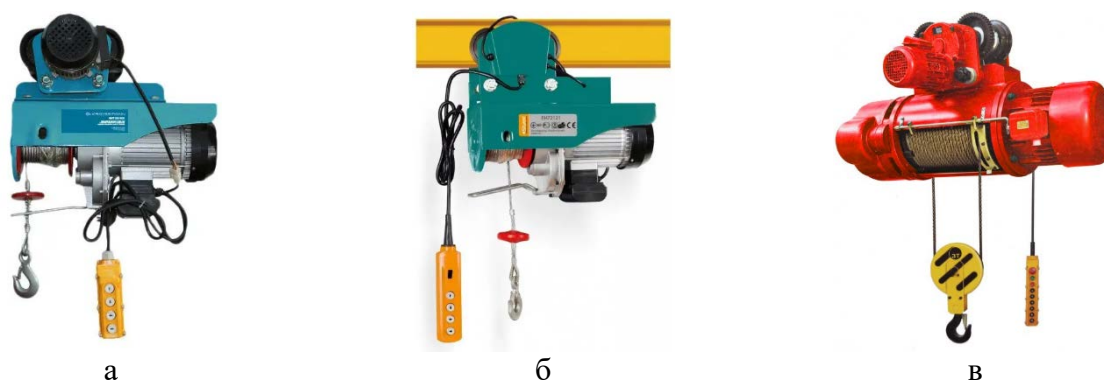
міжнародним стандартам якості [29, 30]. В порівнянні з дизельними чи газовими аналогами самохідні вилочні електронавантажувачі мають дещо меншу потужність, але натомість можуть використовуватися в закритих складських приміщеннях, зокрема підготовчих цехів швейних підприємств. Слід відмітити компактність даного виду навантажувача, що неабияк важливо при роботі в обмеженому просторі складських приміщень [31].

Канатні електричні тельфери (рис. 16) це підвісне вантажопідйомне складське обладнання з електричним приводом, що використовується для переміщення вантажу (до 5 т) у вертикальній (піднімання, опускання) та горизонтальній (вздовж направляючих балок) площинах. Електричні тельфери здатні переміщувати вантаж з порівняно високою швидкістю, що дозволяє суттєво прискорити процес виконання завантажувально-розвантажувальних робіт на складах та у виробничих цехах. До основних переваг також можна віднести компактність конструкції, невелику вагу та зручність в експлуатації [32].

Варто зазначити, що дане обладнання може використовуватися як на відкритих майданчиках, так і в закритих складських приміщеннях, а також в приміщеннях з особливими вимогами до пожежо- та вибухобезпеки [33]. Електричні тельфери можуть застосовуватися як окремо (незалежне функціонування), так і в якості складової частини (вбудовані) більш складного обладнання (вантажопідйомні крани різних типів і модифікацій) [34, 35].



**Рис. 15. Самохідні вилочні електронавантажувачі:**  
а – NobleLift FE4P20; б – Toyota 9FBMK25T; в – Hyster J2.5 XN



**Рис. 16. Канатні електричні тельфери:**  
а – Kraissmann SHT 500/1000; б – Sturm EH72121; в – Poltek 380B CD1-2T

Для обслуговування складських приміщень підготовчих цехів швейних підприємств, де переважають багатоярусні і багаторядні стелажі можуть використовуватись мостові та стелажні крани-штабелери [36].

Сучасний мостовий кран-штабелер представляє собою крановий двохбалочний міст, по якому в горизонтальній площині переміщується вантажний візок з закріпленою на ньому

поворотною вертикальною колоною, по якій у вертикальній площині переміщається виловний вантажопідійомник. Мостові крани-штабелери можна вважати універсальними вантажно-розвантажувальним обладнанням, що може переміщати найрізноманітніші види вантажів. Для цього конструктивно передбачено замість виловного вантажопідійомника застосування різних спеціальних вантажних захватів [37]. За способом спирання на кранові шляхи (підкранові направляючі) розрізняють мостові крани-штабелери підвісного (рис. 17, а) і опорного (рис. 17, б) типу [38].

Опорний візок стелажного крану-штабелера (рис. 17, в), на якому вертикально розміщені одна або дві колони, переміщується по рейковим шляхам (направляючим) в проході між двома рядами стелажів, які він обслуговує. По колонам переміщується вантажопідійомник, що оснащується приймальним столом, на якому за допомогою захвату розміщується вантаж [39].



а



б



в

**Рис. 17. Крани-штабелери:**

а – мостовий підвісний; б – мостовий опорний; в – стелажний

Перемотувальні машини (рис. 18) використовуються для перемотування матеріалу в рулон. Сучасні моделі цього виду обладнання дозволяють також виконувати промірювання та розбраковування тканини.



а



б



в

**Рис. 18. Перемотувальні машини:**

а – Rexel P-3L; б – Rexel CTRL -1500; в – Yuli 2100F-JS-ED

Промірювально-розбракувальні машини (рис. 19), як правило, купуються для великих швейних підприємств, меблевих фабрик та підприємств, що займаються реалізацією тканини. Дане обладнання дозволяє інтенсифікувати технологічний процес, контролювати якість матеріалу, виявляти неправильні переплетення, зіпсовані ділянки тощо [40, 41].



Рис. 19. Промірювальні-розбракувальні машини:  
 а – Yuli 2100CP-ED; б – Sercon DE-1; в – Rexel PP-5/AE

Узагальнену класифікаційну схему типового обладнання підготовчого цеху швейного виробництва представлено на рис. 20.

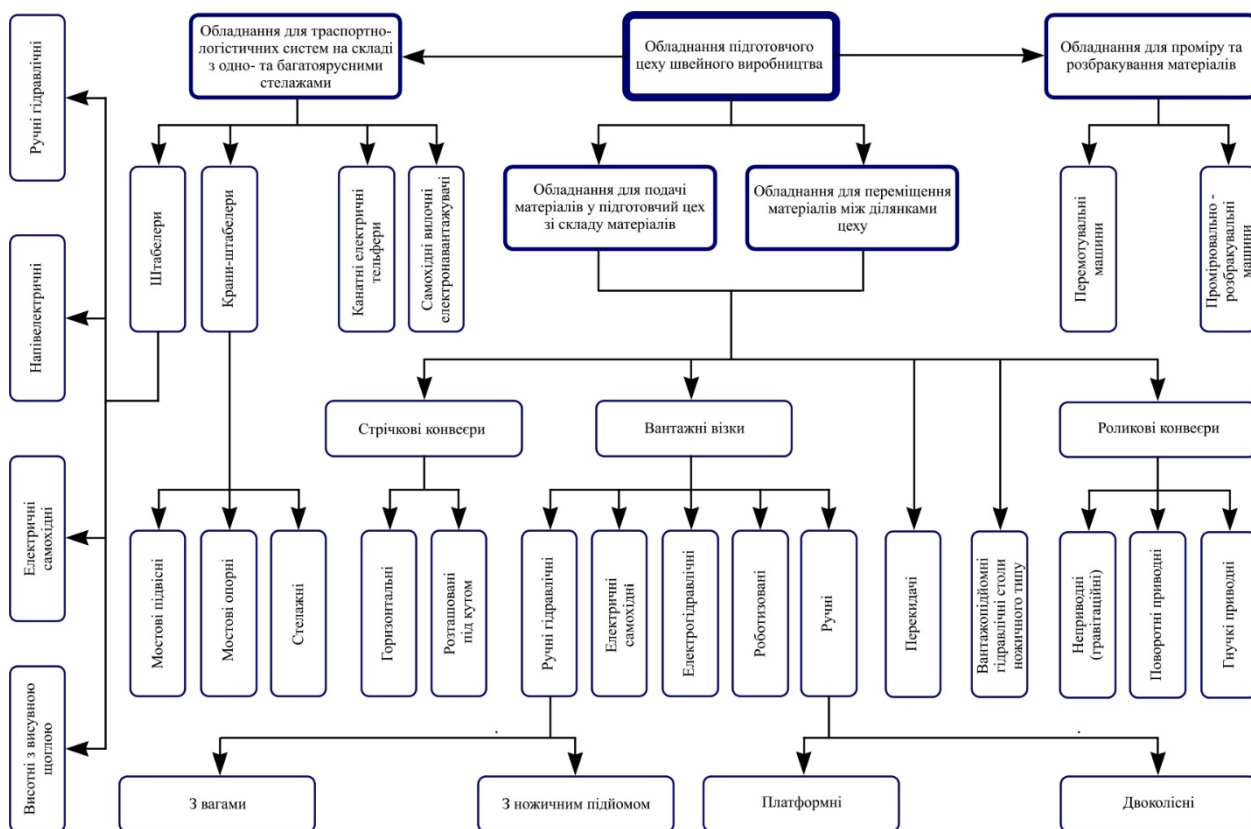


Рис. 20. Узагальнена класифікаційна схема типового обладнання підготовчого цеху швейного виробництва

**Висновки.** Стрімка змінюваність модельного ряду швейних виробів, розширення їх асортименту, впровадження новітніх матеріалів та фурнітури зумовлює необхідність часткового оновлення або повної модернізації як організаційної структури підприємства в цілому та окремих цехів, так і впровадження інноваційного сучасного обладнання. В роботі проведено системний аналіз обладнання, що використовується в підготовчому цеху швейного підприємства. Розроблено узагальнену класифікаційну схему типового обладнання підготовчого цеху швейного підприємства, за якою обладнання класифіковано на наступні групи: обладнання для подачі матеріалів у цех зі складу матеріалів, обладнання для

транспортно-логістичних систем на складі з одно- та багатоярусними стелажми, обладнання для переміщення матеріалів між ділянками цеху та обладнання для проміру та розбракування матеріалів. Встановлено основні вимоги та особливості використання різних типів обладнання. Визначено шляхи можливого удосконалення підготовчого цеху швейного підприємства, в тому числі за рахунок використання інноваційного сучасного обладнання, зокрема автоматизованого та роботизованого.

## References

## Література

1. Rubanka, M. M., Dvorzhak, V. M., Rubanka, A. I., Polishchuk, O. S., Horiashchenko, S. L. (2022). Innovatsiini tekhnologii pry vyhotovlenni shveinykh vyrobiv: obladnannia rozkriinoho vyrobnytstva [Innovative technologies in the production of sewing products: cutting production]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya tekhnichni nauky = Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, Vol. 1, No. 6 (315), P. 188–197 [in Ukrainian].
1. Рубанка М. М., Дворжак В. М., Рубанка А. І., Поліщук О. С., Горященко С. Л. Інноваційні технології при виготовленні швейних виробів: обладнання розкрійного виробництва. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія технічні науки*. 2022. Т. 1, № 6 (315). С. 188–197.
2. Bereznenko, S. M., Vodzinska, O. I., Bilotska, L. B., Donchenko, S. V. (2017). Osnovy tekhnologii eksperymentalnoho ta pidhotovcho-rozkriinoho vyrobnytstv [Basics of technologies of experimental and preparatory and cutting production]. Kyiv: Kyiv National University of Technologies and Design [in Ukrainian].
2. Березненко С. М., Водзінська О. І., Білоцька Л. Б., Донченко С. В. Основи технологій експериментального та підготовчо-розкрійного виробництва: навч. посіб. Київ: КНУТД, 2017. 171 с.
3. Vizky skladski [Warehouse carts]. URL: [https://pack-trade.com/uk/category/skladskaya\\_tehnika/telezhi/#](https://pack-trade.com/uk/category/skladskaya_tehnika/telezhi/#) [in Ukrainian].
3. Візки складські. URL: [https://pack-trade.com/uk/category/skladskaya\\_tehnika/telezhi/#](https://pack-trade.com/uk/category/skladskaya_tehnika/telezhi/#).
4. Skladska tekhnika [Warehouse machinery]. URL: <https://mirmex.com.ua/uk/skladskaya-tehnika> [in Ukrainian].
4. Складська техніка. URL: <https://mirmex.com.ua/uk/skladskaya-tehnika>.
5. Vizky ruchni skladski [Manual warehouse carts]. URL: [https://pro-stock.com.ua/ukr/telezhi\\_skladskie/](https://pro-stock.com.ua/ukr/telezhi_skladskie/) [in Ukrainian].
5. Візки ручні складські. URL: [https://pro-stock.com.ua/ukr/telezhi\\_skladskie/](https://pro-stock.com.ua/ukr/telezhi_skladskie/)
6. Vizky dvokolisni [Two-wheel carts]. URL: <https://mirmex.com.ua/uk/skladskaya-tehnika/telezhi-dvuhkolesnye> [in Ukrainian].
6. Візки двоколісні. URL: <https://mirmex.com.ua/uk/skladskaya-tehnika/telezhi-dvuhkolesnye>.
7. Vizky platformni [Platform carts]. URL: [https://pro-stock.com.ua/ukr/telezhi\\_platformennie/](https://pro-stock.com.ua/ukr/telezhi_platformennie/) [in Ukrainian].
7. Візки платформні. URL: [https://pro-stock.com.ua/ukr/telezhi\\_platformennie/](https://pro-stock.com.ua/ukr/telezhi_platformennie/)
8. Yak pravylno vybraty roklu? [How to choose the right Rocla?]. URL: [https://pro-stock.com.ua/ukr/kak\\_pravilno\\_vybrat\\_roklu/](https://pro-stock.com.ua/ukr/kak_pravilno_vybrat_roklu/) [in Ukrainian].
8. Як правильно вибрати роклу? URL: [https://pro-stock.com.ua/ukr/kak\\_pravilno\\_vybrat\\_roklu/](https://pro-stock.com.ua/ukr/kak_pravilno_vybrat_roklu/)
9. Hidravlichni vizky (rokly) [Hydraulic carts (Rocla)]. URL: <https://www.denor-service.com.ua/gidravlichni-vizki-rokli/> [in Ukrainian].
9. Гідравлічні візки (рокли). URL: <https://www.denor-service.com.ua/gidravlichni-vizki-rokli/>
10. Shcho take vizok z vahamy dlia piddoniv? [What is a cart with scales for pallets?]. URL: <https://mirmex.com.ua/uk/vesy-s-telezhkoj-dlya-poddonov> [in Ukrainian].
10. Що таке візок з вагами для піддонів? URL: <https://mirmex.com.ua/uk/vesy-s-telezhkoj-dlya-poddonov>.
11. Vizky hidravlichni [Hydraulic carts]. URL: <http://kailas-sm.com.ua/product/hand-pallet/> [in Ukrainian].
11. Візки гідравлічні. URL: <http://kailas-sm.com.ua/product/hand-pallet/>
12. Skladska tekhnika [Warehouse machinery]. URL: [https://pro-stock.com.ua/ukr/skladskaya\\_tehnika/](https://pro-stock.com.ua/ukr/skladskaya_tehnika/) [in Ukrainian].
12. Складська техніка. URL: [https://pro-stock.com.ua/ukr/skladskaya\\_tehnika/](https://pro-stock.com.ua/ukr/skladskaya_tehnika/)
13. Pidiomni hidravlichni stoly nozhychnoho typu [Lifting hydraulic tables of scissor type]. URL: <https://mirmex.com>.
13. Підйомні гідравлічні столи ножичного типу. URL: <https://mirmex.com.ua/uk/>

- [ua/uk/skladskaya-tehnika/podemnye-gidravlicheskie-stoly](http://ua/uk/skladskaya-tehnika/podemnye-gidravlicheskie-stoly) [in Ukrainian].
14. Robot-vizok dlia avtomatyzatsii skladu [Robot cart for warehouse automation]. URL: <https://konsort.com.ua/catalog/warehouse-robot-cart/> [in Ukrainian].
15. AGV. Yak nalahodyty avtomatychne sortuvannia na skladi 24/7? [AGV. How to set up automatic sorting in a warehouse 24/7?]. URL: [https://kapelou.com/blog/automotyv/agv\\_for\\_omega/](https://kapelou.com/blog/automotyv/agv_for_omega/) [in Ukrainian].
16. Lohistychnyi robot-vizok [Logistic robot cart]. URL: <https://ia.ua/uk/resheniya/rishennya-dlya-logistiki/logisti-chnij-robot-vizok/> [in Ukrainian].
17. Konveiry [Conveyors]. URL: <https://cic.com.ua/uk/conveyor> [in Ukrainian].
18. Strichkovi konveiry [Belt conveyors]. URL: <https://spetsbud.vimal.ua/ua/straight-belt-conveyors> [in Ukrainian].
19. Konveiry: vydy, klasyfikatsiia ta sfera zastosuvannia [Conveyors: types, classification and scope of application]. URL: <https://ssk.ua/ua/blog/konvejery-vidy-klasyfikaciya-i-sfera-primeneniya-482> [in Ukrainian].
20. Rolhanh [Rollgang]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%B3> [in Ukrainian].
21. Rolykovyi konveier [Roller conveyor]. URL: <http://viplast.com.ua/roller-conveyors/> [in Ukrainian].
22. Kovalov, Yu. A., Pleshko, S. A., Lavrenchuk, V. I. (2016). Klasyfikatsiia suchasnykh prystroiv dlia perevantazhennia ob'ektiv transportuvannia [Classification of contemporary devices for overload transportation objects]. *Lehka promyslovist = Light industry*, No. 4, P. 46–48 [in Ukrainian].
23. Shtabelery [Stackers]. URL: <https://kozakplus.ua/products/transport-store-equipment/stackers> [in Ukrainian].
24. Shtabelery ruchni i akumuliatorni [Manual and battery stackers]. URL: <https://mirmex.com.ua/uk/skladskaya-tehnika/shtabelery-ruchnye-i-akkumulyatornye> [in Ukrainian].
25. Shtabelery, konstruktsiia i sfery zastosuvannia [Stackers, construction and areas of application]. URL: [https://pro-stock.com.ua/ukr/sfera\\_ispolzovaniya\\_shtabelerov/](https://pro-stock.com.ua/ukr/sfera_ispolzovaniya_shtabelerov/) [in Ukrainian].
26. Richtraky (shtabelery z vysuvnoiu shchohloiu) [Reach trucks (stackers with a retractable mast)]. URL: <https://stalker.ua/areas/pogruzochynaya-tehnika/shtabelery-s-vydvizhnoy-machtoy-rich-traki/> [in Ukrainian].
27. Rychtraky: komu, navishcho ta dlia choho? [Rich trucks: to whom, why and for what?]. URL: <https://skladtruck.com.ua/blog/richtraki-komu-navishho-ta-dlya-chogo/> [in Ukrainian].
28. Richtrak: shcho tse take? [Rich track: what is it?]. URL: <http://ivbud.com/interesting/8727-richtrak-shcho-tse-take> [in Ukrainian].
- [skladskaya-tehnika/podemnye-gidravlicheskie-stoly](http://skladskaya-tehnika/podemnye-gidravlicheskie-stoly).
14. Робот-візок для автоматизації складу. URL: <https://konsort.com.ua/catalog/warehouse-robot-cart/>
15. AGV. Як налагодити автоматичне сортування на складі 24/7? URL: [https://kapelou.com/blog/automotyv/agv\\_for\\_omega/](https://kapelou.com/blog/automotyv/agv_for_omega/)
16. Логістичний робот-візок. URL: <https://ia.ua/uk/resheniya/rishennya-dlya-logistiki/logi-stichnij-robot-vizok/>
17. Конвеєри. URL: <https://cic.com.ua/uk/conveyor>.
18. Стрічкові конвеєри. URL: <https://spetsbud.vimal.ua/ua/straight-belt-conveyors>.
19. Конвеєри: види, класифікація та сфера застосування. URL: <https://ssk.ua/ua/blog/konvejery-vidy-klasyfikaciya-i-sfera-primeneniya-482>.
20. Рольганг. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%B3>.
21. Роликовий конвеєр. URL: <http://viplast.com.ua/roller-conveyors/>
22. Ковальов Ю. А., Плешко С. А., Лавренчук В. І. Класифікація сучасних пристроїв для перевантаження об'єктів транспортування. *Легка промисловість*. 2016. № 4. С. 46–48.
23. Штабелери. URL: <https://kozakplus.ua/products/transport-store-equipment/stackers>.
24. Штабелери ручні і акумуляторні. URL: <https://mirmex.com.ua/uk/skladskaya-tehnika/shtabelery-ruchnye-i-akkumulyatornye>.
25. Штабелери, конструкція і сфери застосування. URL: [https://pro-stock.com.ua/ukr/sfera\\_ispolzovaniya\\_shtabelerov/](https://pro-stock.com.ua/ukr/sfera_ispolzovaniya_shtabelerov/)
26. Річтраки (штабелери з висувною щоглою). URL: <https://stalker.ua/areas/pogruzochynaya-tehnika/shtabelery-s-vydvizhnoy-machtoy-rich-traki/>
27. Ричтраки: кому, навіщо та для чого? URL: <https://skladtruck.com.ua/blog/richtraki-komu-navishho-ta-dlya-chogo/>
28. Річтрак: що це таке? URL: <http://ivbud.com/interesting/8727-richtrak-shcho-tse-take>.

29. Vylkovi avtonavantazhuvachi [Forklift trucks]. URL: <https://kozakplus.ua/products/transport-store-equipment/forklift-maximal> [in Ukrainian].
30. Elektrychni navantazhuvachi Toyota [Toyota electric forklifts]. URL: <https://forstor.ua/ua/ca-pogruz-tech/electropogruzchik/> [in Ukrainian].
31. Vylkovi elektronavantazhuvachi [Electric forklift trucks]. URL: <https://hydromarket.com.ua/ua/g105695181-vilochnye-elektropogruzchiki> [in Ukrainian].
32. Telfer [Telfer]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%84%D0%B5%D1%80> [in Ukrainian].
33. Telfer elektrychnyi [Telfer electric]. URL: <https://kzpto.com.ua/uk/telfer-elektrichnij/> [in Ukrainian].
34. Telfery elektrychni [Telfers electric]. URL: <https://kzk.kiev.ua/telfery-elektrychni-vyrobnytstva-bolhariyi> [in Ukrainian].
35. Pryntsyp roboty y osoblyvosti elektrychnoho talia (telfera) [The principle of operation and features of the electric hoist (telfer)]. URL: <https://www.6262.com.ua/news/2967675/princip-roboti-j-osoblivosti-elektrichnogo-tala-telfera> [in Ukrainian].
36. Kovalov, Yu. A., Rubanka, M. M., Sorokina, T. O. (2021). Mekhanizatsiia skladsykh operatsii na pidpriemstvakh lehkoi promyslovosti [Mechanization of warehouse operations at enterprises of light industry]. *Mekhatronni systemy: innovatsii ta inzhynirynh: V Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia (4 lystopada 2021 roku) = V International Scientific and Practical Conference*. Kyiv: KNUVD. P. 94–95 [in Ukrainian].
37. Krany shtabelery mostovi pidvisni [Suspended bridge stacker cranes]. URL: <https://kzk.kiev.ua/krany-shtabelery-mostovi-pidvisni> [in Ukrainian].
38. Krany mostovoho typu [Bridge-type cranes]. URL: [https://kzk.kiev.ua/helpful\\_and\\_interesting-ua/1040](https://kzk.kiev.ua/helpful_and_interesting-ua/1040) [in Ukrainian].
39. Kran shtabeler stelazhnyi [Stacker racking crane]. URL: <https://kzk.kiev.ua/kran-shtabeler-stelazhnyy-3t> [in Ukrainian].
40. Peremotuvalni mashyny [Rewinding machines]. URL: <https://soliy.com.ua/collection/peremotochnye-mashiny?lang=ua> [in Ukrainian].
41. Mirylno-brakuvalni i peremotuvalni mashyny [Measuring-rejecting and rewinding machines]. URL: <https://sewtech.com.ua/uk/rozkrijne-obladnannya/mirilno-brakuvalni-i-peremotochnye-mashini/> [in Ukrainian].
29. Вилкові автонавантажувачі. URL: <https://kozakplus.ua/products/transport-store-equipment/forklift-maximal>.
30. Електричні навантажувачі Toyota. URL: <https://forstor.ua/ua/ca-pogruz-tech/electropogruzchik/>.
31. Вилкові електронавантажувачі. URL: <https://hydromarket.com.ua/ua/g105695181-vilochnye-elektropogruzchiki>.
32. Тельфер. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%84%D0%B5%D1%80>.
33. Тельфер електричний. URL: <https://kzpto.com.ua/uk/telfer-elektrichnij/>.
34. Тельфери електричні. URL: <https://kzk.kiev.ua/telfery-elektrychni-vyrobnytstva-bolhariyi>.
35. Принцип роботи й особливості електричного талю (тельфера). URL: <https://www.6262.com.ua/news/2967675/princip-roboti-j-osoblivosti-elektrichnogo-tala-telfera>.
36. Ковальов Ю. А., Рубанка М. М., Сорокіна Т. О. Механізація складських операцій на підприємствах легкої промисловості. *Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 4 листопада 2021 року)*. Київ: КНУТД, 2021. С. 94–95.
37. Крани штабелери мостові підвісні. URL: <https://kzk.kiev.ua/krany-shtabelery-mostovi-pidvisni>.
38. Крани мостового типу. URL: [https://kzk.kiev.ua/helpful\\_and\\_interesting-ua/1040](https://kzk.kiev.ua/helpful_and_interesting-ua/1040).
39. Кран штабелер стелажний. URL: <https://kzk.kiev.ua/kran-shtabeler-stelazhnyy-3t>.
40. Перемотувальні машини. URL: <https://soliy.com.ua/collection/peremotochnye-mashiny?lang=ua>.
41. Мірально-бракувальні і перемотувальні машини. URL: <https://sewtech.com.ua/uk/rozkrijne-obladnannya/mirilno-brakuvalni-i-peremotochnye-mashini/>.

**RUBANKA MYKOLA**

Candidate of Sciences in Engineering (PhD),  
Associate Professor, Department of Mechanical  
Engineering, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-2367-0333>  
Scopus Author ID: 57200296022  
Researcher ID: AAN-2604-2021  
E-mail: [rubanka.mm@knutd.edu.ua](mailto:rubanka.mm@knutd.edu.ua)

**KOVALOV YURIH**

Candidate of Sciences in Engineering (PhD),  
Associate Professor, Department of Mechanical  
Engineering, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-2321-6763>  
Scopus Author ID: 57221091874  
Researcher ID: AAP-5469-2021  
E-mail: [kovalov.ya@knutd.edu.ua](mailto:kovalov.ya@knutd.edu.ua)

**RUBANKA ALLA**

Candidate of Sciences in Engineering (PhD),  
Associate Professor, Department of Modeling and Artistic Decoration  
of Clothes, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-0298-0850>  
Scopus Author ID: 57200288548  
Researcher ID: C-9746-2018  
E-mail: [rubanka.ai@knutd.edu.ua](mailto:rubanka.ai@knutd.edu.ua)

**RUBANKA M. M., KOVALOV Yu. A., RUBANKA A. I.**

*Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine*

**INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OF SEWING PRODUCTS:  
PREPARATION DEPARTMENT EQUIPMENT**

**Purpose.** Systematic search for rational and effective solutions for the technological process of the preparation department of a sewing enterprise, including through the introduction of modern innovative equipment.

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

**Findings.** It was established that the expansion of the range of sewing products, the rapid introduction of the latest materials and processing methods leads to the need for partial or complete modernization of sewing enterprises, including the preparatory department of a sewing enterprise, due to the introduction of both improved methods of organizing the production process and the introduction of the latest innovative equipment. The classification of the standard equipment of the preparation department of a sewing enterprise is proposed, which allows conditionally classifying the equipment of the preparation department into equipment for supplying materials to the department from the materials warehouse, equipment for transport and logistics systems in a warehouse with single- and multi-level racks, equipment for moving materials between sections of the department, and equipment for measuring and rejecting materials; the main requirements for the equipment used in the technological process of preparation department of a sewing enterprise have been determined; the ways of possible improvement of the preparation department of a sewing enterprise have been outlined.

**Originality.** A systematic analysis of the equipment used in the preparatory workshops of sewing enterprises was carried out. The classification of the standard equipment of the preparation department of a sewing enterprise is proposed. Prospective directions of development thanks to the use of innovative technologies, in particular automation and robotics, are indicated. It has been established that the introduction of modern innovative equipment significantly increases the efficiency of the preparatory department.

**Practical value.** The obtained results of the study can be used in the design, partial renewal and complete modernization of the preparatory department of sewing enterprises, which will lead to an increase in labor productivity.

**Keywords:** technological process; preparation department; sewing enterprise; preparation department equipment; warehouse; cargo.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.4.5>

УДК 621.31:  
535.215

ШВЕДЧИКОВА І. О., ПІСОЦЬКИЙ А. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ПОПЕРЕДНЯ ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГІБРИДНОЇ ВІТРО-СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ЛОКАЛЬНОГО СПОЖИВАЧА

**Мета.** Попередня оцінка характеристик ефективності функціонування гібридної сонячно-вітрової системи, призначеної для забезпечення власних потреб локального споживача, за умови відсутності можливості генерації надлишків енергії відновлюваних джерел до мережі.

**Методика.** Базується на використанні аналітичних методів обробки статистичних даних, які дозволяють проводити детальний аналіз та інтерпретацію отриманих результатів.

**Результати.** Проведено розрахунки показників ефективності – коефіцієнту зменшення витрат та показника самозабезпеченості для підключеного до мережі умовного локального об'єкта з заданим навантаженням. За результатами розрахунків обґрунтовано доцільність вибору локації для розміщення гібридної системи з відновлюваними джерелами енергії. Здійснений аналіз періодів з високою та низькою генерацією відновлюваних джерел в заданій локації для подальшого вибору раціональних параметрів обладнання та стратегій управління потоками енергії для максимальної самозабезпеченості локального споживача.

**Наукова новизна.** Встановлено, що на етапі планування гібридної системи попередню оцінку показників ефективності можна проводити для спрощеної конфігурації системи, в якій не передбачено використання накопичувачів енергії.

**Практична значимість.** В роботі надані рекомендації щодо оцінювання ефективності використання гібридних сонячно-вітрових систем на початкових етапах розробки системи. Показано, що оцінка коефіцієнту зменшення витрат за середньомісячною генерацією відновлюваних джерел енергії, осередненою за багаторічний період, може привести до помилкового результату (завищених значень коефіцієнту). Для більш точних оцінок рекомендується проводити розрахунки показників ефективності за погодинними значеннями генерації відновлюваних джерел.

**Ключові слова:** гібридна система електроживлення; фотоелектрична батарея; вітрогенератор; самоспоживання; самозабезпеченість; коефіцієнт зменшення витрат.

**Вступ.** Гібридна система електроживлення є електричною системою, що «містить більше одного джерела енергії, серед яких принаймні одне є відновлюваним» [1]. Найчастіше на локальних об'єктах (ЛО) відносно невеликої потужності (до 20–50 кВт) побутового та промислового призначення використовують підключені до розподільної мережі (РМ) гібридні системи на основі фотоелектричних батарей (ФБ) та/або вітрогенератора (ВГ) [2, 3]. Використання гібридних систем, які поєднують сонячну та вітрову енергію, є найбільш гнучким варіантом, тому що сприяє підвищенню надійності електропостачання в ЛО.

Останнім часом намітилися тенденція переходу від схем підтримки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) за допомогою пільгових тарифів до самоспоживання, коли електроенергія від ВДЕ споживається в місці її генерації для власних потреб [4, 5]. Згідно [6] самоспоживач енергії з ВДЕ – це «...кінцевий споживач, що працює в рамках свого місця розташування в обмежених кордонах та генерує електроенергію для власного споживання і може накопичувати або продавати самозгенеровану електроенергію з ВДЕ за умови, що для самоспоживачів, які не є домогосподарствами, така діяльність не належить до його головної комерційної чи професійної діяльності». Оцінювання ефективності функціонування таких систем є актуальною науково-технічною задачею.

**Аналіз попередніх досліджень.** Для оцінювання ефективності гібридних систем електроживлення на основі ВДЕ використовують технічні (енергетичні) та економічні

показники [7]. Як зазначено в [7], для гібридних ФБ-ВГ систем промислового призначення можуть бути використані технічні – допустимі значення небалансу потужності, показники надійності та рівень втрат електроенергії, та економічні індикатори – загальна вартість проєкту з ВДЕ, собівартість електроенергії, рівень заміщення традиційних джерел ВДЕ. Для пошуку оптимальних значень показників гібридних систем зазвичай використовують генетичні алгоритми [8, 9]. В [10] наведена економічна оцінка фотоелектричних установок, призначених для задоволення власних потреб промислового об'єкта, показано, що зменшення витрат за споживану електроенергію є ключовим фактором конкурентоздатності таких систем.

На локальному рівні (приватні домогосподарства, малі не побутові споживачі) для оцінки ефективності гібридних систем електроживлення, що працюють на власні потреби, знайшли застосування показники самоспоживання (SC) – для кількісної оцінки виробництва енергії ВДЕ, та самозабезпеченості (SS) – для кількісної оцінки використання енергії від ВДЕ [11–13]. Ці показники приймають значення від 0 до 100%. На практиці профілі виробництва та споживання електроенергії не співпадають: в певні моменти часу спостерігається надлишок генерації від ВДЕ, в інші – генерація ВДЕ може бути нижчою за споживання. Для отримання максимальних значень показників SC та SS необхідно прагнути до максимального наближення вказаних профілів [12].

В роботах [14–16] розглядаються гібридні системи з генерацією електроенергії до РМ. Це дозволяє зменшити споживчі витрати на електроенергію та забезпечити баланс потужності в системі. У той самий час максимальні обсяги генерації до РМ для локальних споживачів можуть бути обмежені умовами договорів на постачання електроенергії. Постачальники енергії також можуть забороняти генерацію надлишкової енергії в мережу з метою підвищення її стабільності та надійності. За умови неможливості скидання надлишку електроенергії в мережу ефективність гібридної системи має визначатися через зменшення витрат за спожиту з РМ електроенергію, яке досягається збільшенням самоспоживання та самодостатності.

Для збільшення власного споживання, як показано в [12, 16–18], рекомендується зберігати надлишкову енергію в накопичувачах енергії, перш за все в акумуляторних батареях (АКБ). В [13] обґрунтовано, що сонячно-вітрові системи з акумуляторними накопичувачами енергії для власного споживання ЛО є найбільш економічно доцільними. Для зменшення надлишків енергії від ВДЕ в гібридних системах пропонуються також інші підходи, які не передбачають використання АКБ та інших накопичувачів енергії. Наприклад, для зменшення надлишків енергії від ВГ змінюють орієнтацію лопатей турбіни [12, 19]. Для зменшення енергії від фотоелектричних модулів змінюють їх робочу точку, коли ФБ змушені працювати не в точці максимальної потужності (МРР) на вольт-амперній характеристиці [12, 20]. Рішення, що не передбачають використання АКБ в гібридних системах, є найпростішими, але їх не можна вважати ефективними, тому що вони не враховують енергетичний баланс з локальним навантаженням, існує висока вірогідність виникнення перевантажень і перенапруг в локальній мережі.

В [21] показано, що в залежності від особливостей енергоринків різних країн можуть використовуватися інші індикатори ефективності гібридних систем. Зокрема, для гібридної фотоелектричної системи, що працює в умовах Марокко, де фінансова підтримка споживачів, які генерують надлишки електричної енергії в мережу, відсутня, пропонується інші технічний та економічний показники. На основі аналізу трьох конфігурацій гібридної системи було встановлено, що найбільш ефективна за технічним індикатором гібридна система не є одночасно ефективною за економічним показником.

Параметри SC та SS розраховуються за певний період часу, зазвичай протягом певного дня, місяця, року або за багаторічний період [22]. В [23] зазначено, що попередню оцінку

ефективності доцільно проводити на етапі планування та проектуванні гібридних систем на основі ВДЕ з врахуванням почасової деталізації даних генерації ВДЕ. Зазвичай використовуються два підходи до моделювання систем: на основі середньомісячних погодинних значень генерації ВДЕ (так звана синтетична генерація) та на основі реальних погодинних почасових рядів даних. В [23] зроблений висновок, що використання даних на основі середньомісячних значень генерації ВДЕ є доцільним на попередніх стадіях проектування систем через високу ступінь невизначеності даних. Для досягнення найбільш точних результатів та проведення більш повного аналізу та оптимізації систем з ВДЕ рекомендується використовувати реальні погодинні дані щодо генерації ВДЕ.

Для оцінювання сонячної радіації та генерації фотоелектричних модулів знайшла застосування база даних PVGIS [24], яка знаходиться у відкритому доступі та надає інформацію на основі моделювання щоденних довгострокових супутникових даних. База даних містить інформацію щодо погодинних та середньомісячних значень потужності генерації ФБ для заданої координати розміщення об'єкта. База даних також містить архів швидкості вітру до 2020 року на висоті 10 м з дискретністю 1 година для типового метеорологічного року (ТМУ). Тому дані PVGIS доцільно також використовувати для попередньої оцінки параметрів ФБ-ВГ систем [25].

Таким чином, аналіз інформаційних джерел показав, що найбільш конкурентоздатними з економічної точки зору для забезпечення власних потреб ЛО є гібридні ФБ-ВГ системи з АКБ. Існують різні методики та показники для оцінки ефективності функціонування таких систем. Найбільшого поширення отримали показники самоспоживання та самозабезпеченості. Існують також методики розрахунку параметрів систем з оцінюванням ефективності їх функціонування, які засновані на досягненні певного значення зниження споживання з РМ. Використовуються розрахункові значення середньомісячної генерації ВДЕ для прийнятого графіка навантаження ЛО. У той самий час оцінка ефективності використання системи за середньомісячною генерацією ВДЕ, особливо розрахованою за тривалий часовий період, не завжди є достатньо об'єктивною. Потребують подальшого вивчення також питання попередньої оцінки ефективності ФБ-ВГ систем на етапі їх розробки.

**Метою дослідження** є попередня оцінка характеристик ефективності функціонування гібридної сонячно-вітрової системи, призначеної для забезпечення власних потреб локального споживача при відсутності генерації надлишків енергії ВДЕ до мережі.

**Результати дослідження.** Важливим етапом розробки гібридної системи з ВДЕ, призначеної для самоспоживання, є вибір раціональних параметрів обладнання (потужності ВДЕ, ємності накопичувачів енергії) та обґрунтування алгоритму управління потоками енергії для максимальної самозабезпеченості ЛО. Цьому етапу зазвичай передують попередня оцінка характеристик системи, їх можливих відхилень та динаміки на основі спрощених підходів.

В [17, 18] для кількісної оцінки економічної вигоди для споживача від функціонування гібридної системи на основі ВДЕ пропонується використовувати коефіцієнт зменшення витрат  $k_E$ , який визначається наступним чином

$$k_E = W_L / W_g = W_L / (W_L - W_R), \quad (1)$$

де  $W_L$  – загальна енергія, що споживається навантаженням;

$W_g$  – енергія, що споживається з мережі ( $W_g \geq 0$  за умови відсутності генерації надлишків енергії ВДЕ до РМ);

$W_R$  – генерація ВДЕ.

Економічну вигоду та ступінь незалежності споживача від мережі також відображає показник самозабезпеченості SS, який описується виразом [11]

$$SS = (W_L - W_g) / W_L. \quad (2)$$

Показники  $k_E$  та SS пов'язані співвідношенням

$$SS = (W_L - W_g) / W_L = 1 - 1 / k_E. \quad (3)$$

Попередню оцінку показників  $k_E$  та SS доцільно проводити для спрощеної конфігурації гібридної системи, в якій не передбачено використання накопичувачів енергії. За цих умов надлишки енергії ВДЕ (при відсутності можливості їх генерації до РМ) втрачаються. Такий варіант побудови системи, як зазначено вище, не є ефективним. У той самий час на початкових етапах розробки систем він дозволяє:

- обґрунтувати доцільність вибору місця розташування гібридної системи з ВДЕ для живлення заданого навантаження ЛО. Можна припустити, якщо для найменш ефективного варіанту гібридної системи будуть отримані задовільні показники ефективності функціонування ( $k_E > 1$ ,  $SS > 0$ ), то для системи з раціональною структурою, параметрами та стратегіями управління потоками енергії ці показники будуть значно вище;

- здійснити аналіз періодів з високою та низькою генерацією ВДЕ в заданій локації для подальшого вибору параметрів та режимів роботи накопичувачів енергії.

Як варіант, приймаємо графік навантаження ЛО з піковим навантаженням  $P_L=200$  Вт [17]. В табл. 1 наведені середні на відповідних інтервалах часу значення максимальної потужності навантаження. Енергія  $W_L$ , що споживається навантаженням за добу (табл. 1), визначається за виразом

$$W_L = \sum_0^{24} P_{Li} \Delta t_i = P_{L12} \Delta t_{12} + P_{L23} \Delta t_{23} + P_{L34} \Delta t_{34} + P_{L45} \Delta t_{45} + P_{L56} \Delta t_{56} + P_{L67} \Delta t_{67} + P_{L71} \Delta t_{71}. \quad (4)$$

та складає, відповідно: влітку  $W_L = 3140$  Вт·год, взимку  $W_L = 3060$  Вт·год, в перехідний період (весна, осінь)  $W_L = 3180$  Вт·год.

Таблиця 1

Навантаження умовного локального об'єкта

Місяці	Нічний період ( $t_6, t_7$ ), ( $t_7, t_1$ ), ( $t_1, t_2$ )	Пікові години ( $t_2, t_3$ ), ( $t_5, t_6$ )	Денний період ( $t_3, t_4$ ), ( $t_4, t_5$ )	$W_L$ , Вт·год
Травень-серпень	( $t_7=24.00, t_1=7.00$ ) $P_{L71}=0.2P_L=40$ Вт ( $t_1=7.00, t_2=8.00$ ), ( $t_6=23.00, t_7=24.00$ ), $P_{L12}=P_{L67}=0.3P_L=60$ Вт	( $t_2=8.00, t_3=11.00$ ), ( $t_5=20.00, t_6=23.00$ ), $P_{L23} = P_{L56} = P_L = 200$ Вт	( $t_3=11.00, t_4=16.00$ ) $P_{L34}=0.9P_L=180$ Вт ( $t_4=16.00, t_5=20.00$ ) $P_{L45}=0.8P_L=160$ Вт	3140
Березень, квітень, вересень, жовтень	( $t_7=23.00, t_1=6.00$ ) ( $t_1=6.00, t_2=8.00$ ), ( $t_6=22.00, t_7=23.00$ ), $P_{L12}=P_{L67}=P_{L71}=0.3P_L=60$ Вт	( $t_2=8.00, t_3=10.00$ ), ( $t_5=18.00, t_6=22.00$ ), $P_{L23} = P_{L56} = P_L = 200$ Вт	( $t_3=10.00, t_4=15.00$ ) $P_{L34}=0.9P_L=180$ Вт ( $t_4=15.00, t_5=18.00$ ) $P_{L45}=0.8P_L=160$ Вт	3180
Листопад-лютий	( $t_7=23.00, t_1=6.00$ ) ( $t_1=6.00, t_2=8.00$ ), ( $t_6=21.00, t_7=23.00$ ), $P_{L12}=P_{L67}=P_{L71}=0.3P_L=60$ Вт	( $t_2=8.00, t_3=10.00$ ), ( $t_5=17.00, t_6=21.00$ ), $P_{L23} = P_{L56} = P_L = 200$ Вт	( $t_3=10.00, t_4=15.00$ ) $P_{L34}=0.9P_L=180$ Вт ( $t_4=15.00, t_5=17.00$ ) $P_{L45}=0.8P_L=160$ Вт	3060

Джерело: [17].

Для подальших розрахунків приймаємо ФБ з встановленою потужністю  $P_{PV}=1$  кВт. Використовуємо архівні дані щодо погодинної генерації ФБ  $P_{PV}$ , отримані за допомогою бази даних (БД) PVGIS [24] для передмістя Києва з географічними координатами  $50^{\circ}32'36''$  N,  $30^{\circ}12'43''$  E за період 5 років. Для ЛО з переважно денним споживанням, коли нічне навантаження невелике та відсутня генерація електроенергії до РМ, доцільно використовувати ВГ як допоміжне джерело живлення, меншої, у порівнянні з ФБ, потужності [17]. Для локації з обраними географічними координатами середня швидкість вітру складає 3,36 м/с, тому як базовий варіант можна прийняти вертикально-осьовий ВГ з параметрами: стартова швидкість вітру  $V_{min} = 0,9$  м/с, номінальна швидкість вітру  $V_r = 4,5$  м/с, максимальна робоча швидкість вітру  $V_{max} = 12$  м/с, номінальна потужність  $P_W = 2500$  Вт [25-27]. Середні погодинні дані для швидкості вітру також визначаються за архівними даними бази даних PVGIS [24]. Визначення потужності генерації ВГ  $P_W^*$  (у відносних одиницях) здійснюється у відповідності до [28] за виразом

$$P_W^* = \begin{cases} (V^*)^3, & \text{if } V_{min} / V_r < V^* < 1 \\ 1, & \text{if } V^* = 1, \\ -0,8216(V^*)^2 + 2.1875V^* - 0,3588, & \text{if } 1 < V^* \leq 1.33, \\ 1.1, & \text{if } 1.33 < V^* \leq V_{max} / V_r. \end{cases} \quad (5)$$

Розподіл потоків енергії в системі ФБ-ВГ описується наступним чином [29]

$$W_L = \begin{cases} W_R, & \text{if } W_R \geq W_L \\ W_g, & \text{if } W_R = 0 \\ W_g + W_R, & \text{if } W_R < W_L \end{cases} \quad (6)$$

Далі проводимо перерахунок потужностей ФБ та ВГ відносно встановлених потужностей та у відповідності до величини навантаження. За прийнятого обмеження (6), коли  $W_R < W_L$ , вираз для енергії  $W_L$ , що споживається навантаженням, має вигляд

$$W_L = W_g + W_R,$$

де  $W_R = W_{PV} + W_W$  ( $W_{PV}$ ,  $W_W$  – енергія, що генерується, відповідно, ФБ та ВГ).

В табл. 2 наведені середні за місяць значення генерації ФБ  $W_{PV}$  та ВГ  $W_W$  за період осереднення 5 років (з 2012 по 2016 рр.). Для ВГ наведені також середні значення нічної  $W_{W62}$  та денної  $W_{W26}$  генерації за відповідними інтервалами часу ( $t_6, t_2$ ) – ніч, ( $t_2, t_6$ ) – день.

Таблиця 2

Показники середньомісячної генерації ФБ та ВГ

Показники	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$W_{PV}$ , кВт·год	0,98	1,81	2,83	3,83	4,26	4,48	4,37	4,16	3,52	2,47	0,96	1,06
$W_W$ , кВт·год	33,84	28,05	34,02	27,54	22,10	24,16	24,49	20,12	25,56	25,93	31,45	35,34
$W_{W26}$ , кВт·год	19,16	15,69	21,52	18,01	15,16	16,98	16,71	14,10	16,35	16,14	18,07	19,35
$W_{W62}$ , кВт·год	14,68	12,35	12,50	9,53	6,94	7,18	7,78	6,02	9,22	9,74	13,38	15,99

Енергія від ВДЕ  $W_R$ , за якої витрати можуть бути зменшені в  $k_E$  разів, становить [17]

$$W_R = W_L \left(1 - \frac{1}{k_E}\right) = W_L \cdot SS. \quad (7)$$

Загальна генерація ФБ та ВГ [17]

$$W_R = W_{PV} m_p + W_W / m, \quad (8)$$

де  $m_p$  – коефіцієнт перерахунку потужності ФБ відносно встановленої потужності 1 кВт;

$m$  – коефіцієнт перерахунку потужності ВГ по відношенню до значень, наведених в табл. 2 для номінальної потужності ВГ 2,5 кВт.

В нічний час на інтервалі  $(t_6, t_2)$  за відсутності генерації ФБ потрібно забезпечити баланс потужності

$$W_{L62} = W_{g62} + W_{W62} / m.$$

Припускаємо, що на інтервалі  $(t_6, t_2)$  енергія ВГ компенсує споживання навантаження ЛО, споживання з РМ відсутнє  $W_{g62} = 0$ , тоді отримуємо вираз

$$m = \frac{W_{W62}}{W_{L62}}. \quad (9)$$

Найбільша середня генерація ВГ у нічний час  $W_{W62}$  має місце у грудні (табл. 2). Розрахункові значення середньомісячної генерації ВГ  $W_{W62}$  в період весна-літо-осінь значно менше. Відповідно, максимальне значення коефіцієнту  $m$  для  $W_{L62}=660$  Вт·год (табл. 1) складатиме  $m=24,2$ .

Найбільша середня генерація ФБ  $W_{PV}$  спостерігається у червні (4,48 кВт·год). Якщо знехтувати споживанням з мережі в денний час  $W_{g26} = 0$  (при прийнятій потужності ВДЕ це припущення є обґрунтованим), то можна написати наступний вираз для балансу потужності вдень

$$W_{L26} = W_{W26} / m + W_{PV} m_p. \quad (10)$$

Звідки знаходимо коефіцієнт  $m_p = 0,45$ .

Як результат, для прийнятого графіка навантаження з потужністю  $P_L=200$  Вт отримуємо встановлені потужності ФБ  $P_{PVR}=450$  Вт та ВГ  $P_{WR}=103$  Вт, відповідно. В реальних умовах, наприклад, для навантаження  $P_L=5$  кВт будемо мати такі значення потужностей ФБ та ВГ:  $P_{PVR}=11,25$  кВт,  $P_{WR}=2,5$  кВт.

Подальші розрахунки характеристик системи ФБ-ВГ здійснювались за допомогою інструментальних засобів програми Microsoft Excel. До розрахункових таблиць вносились погодинні значення сонячної генерації  $P_{PV}$  та швидкості вітру з архіву БД PVGIS [24] за період 2012-2016 рр. Розрахунки погодинних значень потужності вітрогенерації проводили з використанням формули (5), а погодинної сумарної генерації ВДЕ – за виразом (8). Визначалися показники самозабезпеченості  $k_E$  та  $SS$  за формулами (1)-(3). Оцінка ефективності використання гібридної ФБ-ВГ системи проводилася з врахуванням (6):

- за середньомісячною генерацією ВДЕ, осередненою за п'ятирічний період (з 2012 по 2016 рр.) – показник  $k_{EM}$  в табл. 3;

- за середньомісячною генерацією ВДЕ, розрахованою за погодинними даними – показник  $k_E$  в табл. 3.

На цьому етапі було виявлено, що при розрахунку показника  $k_{EM}$  за середньомісячною генерацією ВДЕ, осередненою за п'ятирічний період, можуть бути отримані помилкові результати із завищенням середньомісячних значень показника зменшення витрат  $k_{EM}$ . Сонячна генерація та швидкість вітру мають випадковий характер та відрізняються високою варіабельністю, тому одиничні виміри сонячної генерації та погодинні значення потужності вітрогенерації, розраховані за даними швидкості вітру, також будуть постійно змінюватись, приймаючи різні значення. В цьому випадку високі та низькі локальні значення погодинної генерації ВДЕ взаємно компенсують одне одного, що призводить до завищених значень  $k_{EM}$ . В табл. 4 для прикладу наведений фрагмент погодинних даних потужності навантаження  $P_L$  та генерації ВДЕ  $P_R$  для грудня місяця 2012 р. Якщо для середньомісячних значень енергії ВДЕ  $W_R=46,95$  кВт·год та навантаження  $W_L=94,86$  кВт·год виконується умова  $W_R < W_L$ , то в певні години 31 грудня 2012 р. спостерігається перевищення погодинної генерації ВДЕ  $P_R$  над потужністю навантаження  $P_L$  ( $P_R > P_L$ ). Враховуючи, що надлишкова енергія ВДЕ не може бути спожита навантаженням, приймалося обмеження  $P_R = P_L$  у відповідності до (6).

Як можна бачити з табл. 3, значення показника  $k_E$ , розраховані за погодинними значеннями генерації ВДЕ, суттєво відрізняються (у 5...10 разів), особливо у період весна-літо-осінь, від  $k_{EM}$ , розрахованого за середньомісячною генерацією ВДЕ, осередненою за п'ятирічний період. У той самий час, в зимовий період ця різниця не настільки суттєва, максимальне та мінімальне значення коефіцієнту ефективності відрізняються у 1,2...1,4 рази. До табл. 3 також додані значення показника самозабезпеченості SS за період 2012–2016 рр. Розраховані за погодинною генерацією значення показника SS змінюється від 46,5% (у листопаді) до 63,2% (у грудні).

Таблиця 3

**Результати розрахунку показників самозабезпеченості**

Показ- ники	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2012 р.												
$k_E$	1.87	2.45	2.82	2.61	2.52	2.72	2.48	2.58	2.20	1.87	1.66	1.77
2013 р.												
$k_E$	1.65	1.66	2.41	2.51	2.45	2.39	2.93	2.40	2.34	1.72	2.09	1.99
2014 р.												
$k_E$	2.26	1.84	2.67	2.24	2.36	2.61	2.33	2.44	2.57	2.33	1.52	1.93
2015 р.												
$k_{EH}$	2.43	2.95	2.61	2.80	2.47	2.97	3.29	2.74	2.37	2.26	2.61	2.44
2016 р.												
$k_{EH}$	2.43	2.95	2.61	2.80	2.47	2.97	3.29	2.74	2.37	2.26	2.61	2.44
2012–2016 рр.												
$k_{EM}$	2.49	2.77	6.36	10.09	10.11	24.82	19.25	7.15	5.91	3.23	2.29	2.66
SS, %	59.8	63.9	84.3	90.08	90.11	95.97	94.8	86.0	83.1	69.0	56.3	62.4
$k_E$	2.01	2.04	2.61	2.62	2.49	2.71	2.72	2.50	2.41	2.03	1.87	2.06
SS, %	50.24	50.98	61.68	61.8	59.84	63.09	63.23	60.0	58.5	50.73	46.52	51.45

**Висновки.** При розробці гібридних систем з ВДЕ на етапі попередніх досліджень доцільно проводити узагальнюючу оцінку показників ефективності функціонування ( $k_E$ , SS) для спрощеної конфігурації гібридної системи без накопичувачів енергії. В роботі на прикладі ЛО з заданим навантаженням здійснено розрахунок ефективності гібридної системи, який показав, що навіть при використанні системи зі спрощеною структурою існує можливість

зменшення споживання енергії з мережі ( $k_E > 1$ ,  $SS > 0$ ), в середньому, у два рази, що свідчить про достатньо високий потенціал ВДЕ в обраній локації.

Таблиця 4

**Приклад погодинного розрахунку потужності ВДЕ та навантаження для грудня місяця 2012 року**

Дата	Години	$P_L$ , Вт	$P_R$ , Вт	$W_L$ , Вт·год	$W_R$ , Вт·год
01.12.2012	00:00	60	6.61157	94860.0	46950.63
01.12.2012	01:00	60	6.286471		
...	...	...	...		
01.12.2012	22:00	60	26.52071		
01.12.2012	23:00	60	27.93612		
...	...	...	...		
31.12.2012	00:00	60	93.31573		
31.12.2012	01:00	60	80.44298		
...	...	...	...		
31.12.2012	22:00	60	84.5928		
31.12.2012	23:00	60	83.39292		

Встановлено, що при розрахунку показника ефективності за середньомісячною генерацією ВДЕ, осередненою за багаторічний період, можуть бути отримані помилкові результати із завищенням у 5–10 разів показника зменшення витрат  $k_E$ . Для уникнення невизначеності в оцінці ефективності системи, розрахунки показників ефективності необхідно проводити для погодинних значень генерації ВДЕ з врахуванням прийнятих обмежень щодо розподілу потоків енергії в системі.

Напрямок подальших досліджень є обґрунтування алгоритму вибору раціональних параметрів обладнання (потужності ВДЕ, ємності накопичувачів енергії) та сценаріїв управління потоками енергії для максимальної самозабезпеченості ЛО.

**Подяка.** Дана публікація підготовлена за підтримки Міністерства освіти і науки України в рамках спільного українсько-словацького науково-дослідного проекту «Удосконалення енергоменеджменту гібридних фотоелектричних систем локальних об'єктів з акумуляторними батареями» (0123U103763) між Київським національним університетом технологій та дизайну (Україна) та Технічним університетом Кошице (Словачина).

**References**

**Література**

1. Jihane, K., Cherkaoui, M. (2019). Study of the different structures of hybrid systems in renewable energies: A review. *Energy Procedia*, 157, 323–330, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.197>.

2. Cruzatt Quispe, J. S. A., Mendoza Llauri, E. M., Castaneda-Olivera, C. A., Benites Alfaro, E., Cabello Torres, R. J., Espinoza Farfan, E. R. (2022). Implementation of a Wind-solar Hybrid System for Electricity Generation. *Chemical Engineering Transactions*, 92, 187–192, DOI: 10.3303/CET229203.

3. Cruzatt Quispe, J. S. A., Mendoza Llauri, E. M., Castaneda-Olivera, C. A., Benites Alfaro, E., Cabello

1. Jihane K., Cherkaoui M. Study of the different structures of hybrid systems in renewable energies: A review. *Energy Procedia*. 2019. Vol. 157. P. 323–330. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.197>.

2. Cruzatt Quispe J. S. A., Mendoza Llauri E. M., Castaneda-Olivera C. A., Benites Alfaro E., Cabello Torres R. J., Espinoza Farfan E. R. Implementation of a Wind-solar Hybrid System for Electricity Generation. *Chemical Engineering Transactions*. 2022. Vol. 92. P. 187–192. DOI: 10.3303/CET229203.

3. Cruzatt Quispe J. S. A., Mendoza Llauri E. M., Castaneda-Olivera C. A., Benites Alfaro E.,

- Torres, R. J., Espinoza Farfan, E. R. (2022). Implementation of a Wind-solar Hybrid System for Electricity Generation. *Chemical Engineering Transactions*, 92, 187–192, DOI: 10.3303/CET2292032.
4. Luthander, R., Widén, J., Nilsson, D., Palm, J. (2015). Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. *Appl. Energies*, 142, 80–94, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.028>.
5. Pater, S. (2023). Increasing Energy Self-Consumption in Residential Photovoltaic Systems with Heat Pumps in Poland. *Energies*, 16, 4003, <https://doi.org/10.3390/en16104003>.
6. Denysiuk, S., Strzelecki, R., Bohoiko, I., Strzelecki, N. (2023). Analiz osoblyvosti efektyvnoho vprovadzhennia soniachnykh elektrostantsii v lokalnykh systemakh enerhozabezpechennia [Analysis of the features of effective implementation of solar power plants in local energy supply systems]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia = Energy: economy, technologies, ecology*, 2, 7–25, DOI: 10.20535/1813-5420.2.2023.279536 [in Ukrainian].
7. Kuznetsov, M., Lysenko, O., Melnyk, O. (2019). Zadachi optymizatsii kombinovanykh enerhosystem za ekonomichnymy kryteriiamy [Problems of optimization of combined power systems by economic criteria]. *Vidnovliuvana enerhetyka = Renewable Energy*, 4, 6–14, [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.4\(59\).6-14](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.4(59).6-14) [in Ukrainian].
8. Satish Kumar Ramoji, Bibhuti Bhusan Rath, D. Vijay Kumar (2014). Optimum Design of a Hybrid PV/Wind Energy System Using Genetic Algorithm (GA). *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, 4, 38–48, DOI: 10.9790/3021-04153848.
9. Bakhtiar, E., Naeimi, A., Behbahaninia, A., Pignatta, G. (2021). Size Optimization of a Grid-Connected Solar–Wind Hybrid System in NetZero Energy Buildings: A Case Study. *Environ. Sci. Proc.*, 12, <https://doi.org/10.3390/environsciproc2021012012>.
10. Pedrero, J., Hern, P., Martínez, Á. (2021). Economic Evaluation of PV Installations for Self-Consumption in Industrial Parks. *Energies*, 14, 728, <https://doi.org/10.3390/en14030728>.
11. How is Self-Consumption and Self-Sufficiency calculated? URL: <https://support.smappee.com/hc/en-gb/articles/360044277371-How-is-Self-Consumption-and-Self-Sufficiency-calculated->.
12. Ciocia, A., Amato, A., Di Leo, P., Fichera, S., Malgaroli, G., Spertino, F., Tzanova, S. (2021). Self-
- Cabello Torres R. J., Espinoza Farfan E. R. Implementation of a Wind-solar Hybrid System for Electricity Generation. *Chemical Engineering Transactions*. 2022. Vol. 92. P. 187–192. DOI: 10.3303/CET2292032.
4. Luthander R., Widén J., Nilsson D., Palm J. Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. *Appl. Energies*. 2015. Vol. 142. P. 80–94. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.028>.
5. Pater S. Increasing Energy Self-Consumption in Residential Photovoltaic Systems with Heat Pumps in Poland. *Energies*. 2023. Vol. 16. Art. 4003. <https://doi.org/10.3390/en16104003>.
6. Денисюк С., Стржелецький Р., Богойко І., Стржелецька Н. Аналіз особливостей ефективного впровадження сонячних електростанцій в локальних системах енергозабезпечення. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2023. № 2. С. 7–25. DOI: 10.20535/1813-5420.2.2023.279536.
7. Кузнецов М., Лисенко О., Мельник О. Задачі оптимізації комбінованих енергосистем за економічними критеріями. *Відновлювана енергетика*. 2019. № 4. С. 6–14. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.4\(59\).6-14](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.4(59).6-14).
8. Satish Kumar Ramoji, Bibhuti Bhusan Rath, Vijay Kumar D. Optimum Design of a Hybrid PV/Wind Energy System Using Genetic Algorithm (GA). *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*. 2014. Vol. 4. P. 38–48. DOI: 10.9790/3021-04153848.
9. Bakhtiar E., Naeimi A., Behbahaninia A., Pignatta G. Size Optimization of a Grid-Connected Solar – Wind Hybrid System in NetZero Energy Buildings: A Case Study. *Environ. Sci. Proc.* 2021. Vol. 12. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2021012012>.
10. Pedrero J., Hern P., Martínez Á. Economic Evaluation of PV Installations for Self-Consumption in Industrial Parks. *Energies*. 2021. Vol. 14. Art. 728. <https://doi.org/10.3390/en14030728>.
11. How is Self-Consumption and Self-Sufficiency calculated? URL: <https://support.smappee.com/hc/en-gb/articles/360044277371-How-is-Self-Consumption-and-Self-Sufficiency-calculated->.
12. Ciocia A., Amato A., Di Leo P., Fichera S., Malgaroli G., Spertino F., Tzanova S. Self-

Consumption and Self-Sufficiency in Photovoltaic Systems: Effect of Grid Limitation and Storage Installation. *Energies*, 14, 1591, <https://doi.org/10.3390/en14061591>.

13. Camilo, F., Santos, P. (2023). Technical-Economic Evaluation of Residential Wind and Photovoltaic Systems with Self-Consumption and Storage Systems in Portugal. *Energies*, 16, 1805, <https://doi.org/10.3390/en16041805>.

14. Menniti, D., Pinnarelli, A., Sorrentino, N. (2009). A method to improve microgrid reliability by optimal sizing PV/Wind plants and storage systems. *Conference Paper*, DOI: 10.1049/cp.2009.1003.

15. Kartite, J., Cherkaoui, M. (2019). Study of the different structures of hybrid systems in renewable energies: A review. *Energy Procedia*, 157, 323–330, URL: [www.scsiceinecneceidreircetc.ct.ocmom](http://www.scsiceinecneceidreircetc.ct.ocmom).

16. Kamjoo, A., Maheri, A., Putrus, G., Dizqah, A. (2012). Optimal sizing of grid-connected hybrid wind-PV systems with battery bank storage. *Conference Paper*, URL: <https://www.researchgate.net/publication/231205795>.

17. Shavolkin, O., Shvedchykova, I., Kolcun, M., Medved', D. (2022). Improvement of the Grid-Tied Solar-Wind System with a Storage Battery for the Self-Consumption of a Local Object. *Energies*, 15, 5114, <https://doi.org/10.3390/en15145114>.

18. Shavolkin, O., Shvedchykova, I., Kolcun, M., Medved', D. (2022). Variant of Implementation of a Grid-Tied Solar-Wind System with a Storage Battery for Self-Consumption of Local Object. *2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, 184–189, <https://doi.org/10.1109/ESS57819.2022.9969234>.

19. Siano, P., Chen, P., Chen, Z., Piccolo, A. (2010). Evaluating maximum wind energy exploitation in active distribution networks. *IET Gener. Transm. Distrib.*, 4, 598–608, DOI:10.1049/iet-gtd.2009.0548.

20. Ahmad, J., Spertino, F., Ciocia, A., Di Leo, P. (2015). A maximum power point tracker for module integrated PV systems under rapidly changing irradiance conditions. In *Proceedings of the 2015 International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE)*, 7–11, <https://doi.org/10.1109/ICSGCE.2015.7454261>.

Consumption and Self-Sufficiency in Photovoltaic Systems: Effect of Grid Limitation and Storage Installation. *Energies*. 2021. Vol. 14. Art. 1591. <https://doi.org/10.3390/en14061591>.

13. Camilo F., Santos P. Technical-Economic Evaluation of Residential Wind and Photovoltaic Systems with Self-Consumption and Storage Systems in Portugal. *Energies*. 2023. Vol. 16. Art. 1805. <https://doi.org/10.3390/en16041805>.

14. Menniti D., Pinnarelli A., Sorrentino N. A method to improve microgrid reliability by optimal sizing PV/Wind plants and storage systems. *Conference Paper*. 2009. DOI: 10.1049/cp.2009.1003.

15. Kartite J., Cherkaoui M. Study of the different structures of hybrid systems in renewable energies: A review. *Energy Procedia*. 2019. Vol. 157. P. 323–330. URL: [www.scsiceinecneceidreircetc.ct.ocmom](http://www.scsiceinecneceidreircetc.ct.ocmom).

16. Kamjoo A., Maheri A., Putrus G., Dizqah A. Optimal sizing of grid-connected hybrid wind-PV systems with battery bank storage. *Conference Paper*. 2012. URL: <https://www.researchgate.net/publication/231205795>.

17. Shavolkin O., Shvedchykova I., Kolcun M., Medved' D. Improvement of the Grid-Tied Solar-Wind System with a Storage Battery for the Self-Consumption of a Local Object. *Energies*. 2022. Vol. 15. Art. 5114. <https://doi.org/10.3390/en15145114>.

18. Shavolkin O., Shvedchykova I., Kolcun M., Medved' D. Variant of Implementation of a Grid-Tied Solar-Wind System with a Storage Battery for Self-Consumption of Local Object. *2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*. 2022. P. 184–189. <https://doi.org/10.1109/ESS57819.2022.9969234>.

19. Siano P., Chen P., Chen Z., Piccolo A. Evaluating maximum wind energy exploitation in active distribution networks. *IET Gener. Transm. Distrib.* 2010. Vol. 4. P. 598–608. DOI: 10.1049/iet-gtd.2009.0548.

20. Ahmad J., Spertino F., Ciocia A., Di Leo P. A maximum power point tracker for module integrated PV systems under rapidly changing irradiance conditions. In: *Proceedings of the 2015 International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE)*. 2015. P. 7–11. <https://doi.org/10.1109/ICSGCE.2015.7454261>.

21. Andam, M., Alami, J., Louartassi, Y., Zine, R. (2023). Technical and Economic Efficiency in Photovoltaic Battery Systems. *Proceedings of the 8th North American International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, URL: <https://ieomsociety.org/proceedings/2023houston/206.pdf>.
22. Burgio, A., Menniti, D., Sorrentino, N., Pinnarelli, A., Leonowicz, Z. (2020). Influence and Impact of Data Averaging and Temporal Resolution on the Assessment of Energetic, Economic and Technical Issues of Hybrid Photovoltaic-Battery Systems. *Energies*, 13(2), 354, <https://doi.org/10.3390/en13020354>.
23. Caballero, P., Goenka, H. (2019). Solar resource data – time series data vs monthly averages. URL: <https://solargis.com/blog/best-practices/solar-resource-data-time-series-data-vs-monthly-averages>.
24. Photovoltaic geographical information system. URL: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#SA](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#SA).
25. Shvedchykova, I., Pisotskyi, A., Nicheglod, V. (2021). Porivnialnyi analiz konstruktyvnykh variantiv vitrohenerovalnykh ustanovok [Comparative analysis of design options for wind turbines]. *V Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia MSIE-2021 = V International Scientific and Practical Conference MSIE-2021*, pp. 67–68. URL: [https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/19198/1/MSIE\\_2021\\_P067-068.pdf](https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/19198/1/MSIE_2021_P067-068.pdf) [in Ukrainian].
26. Vetrogeneratori [Wind generators]. URL: <http://altenergo.biz/vetrogenerator> [in Ukrainian].
27. Vertikalnyi vetrogenerator kW [Vertical wind generator kW]. URL: <https://vaulttec.org.ua/ua/p1780744418-vertikalnyj-vetrogenerator-kvt.html> [in Ukrainian].
28. Shvedchykova, I., Romanchenko, J., Melkonova, I., Melkonov, H., Pisotskii, A. (2022). Possibilities of Electricity Generation Using Small Wind Generators in Eastern Ukraine. *2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, P. 239–242, DOI: 10.1109/ESS57819.2022.9969319.
29. Qusay, H. (2022). Evaluate the adequacy of self-consumption for sizing photovoltaic system. *Energy Reports*, 8, 239–254, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.11.205>.
21. Andam M., Alami J., Louartassi Y., Zine R. Technical and Economic Efficiency in Photovoltaic Battery Systems. *Proceedings of the 8th North American International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. 2023. URL: <https://ieomsociety.org/proceedings/2023houston/206.pdf>.
22. Burgio A., Menniti D., Sorrentino N., Pinnarelli A., Leonowicz Z. Influence and Impact of Data Averaging and Temporal Resolution on the Assessment of Energetic, Economic and Technical Issues of Hybrid Photovoltaic-Battery Systems. *Energies*. 2020. Vol. 13(2). Art. 354. <https://doi.org/10.3390/en13020354>.
23. Caballero P., Goenka H. Solar resource data – time series data vs monthly averages. 2019. URL: <https://solargis.com/blog/best-practices/solar-resource-data-time-series-data-vs-monthly-averages>.
24. Photovoltaic geographical information system. URL: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#SA](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#SA).
25. Шведчикова І., Пісоцький А., Ничеглод В. Порівняльний аналіз конструктивних варіантів вітрогенерувальних установок. *V Міжнародна науково-практична конференція MSIE-2021*. 2021. С. 67–68. URL: [https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/19198/1/MSIE\\_2021\\_P067-068.pdf](https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/19198/1/MSIE_2021_P067-068.pdf).
26. Вітрогенератори. URL: <http://altenergo.biz/vetrogenerator>.
27. Вертикальний вітрогенератор кВт. URL: <https://vaulttec.org.ua/ua/p1780744418-vertikalnyj-vetrogenerator-kvt.html>.
28. Shvedchykova I., Romanchenko J., Melkonova I., Melkonov H., Pisotskii A. Possibilities of Electricity Generation Using Small Wind Generators in Eastern Ukraine. *2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*. 2022. P. 239–242. DOI: 10.1109/ESS57819.2022.9969319.
29. Qusay H. Evaluate the adequacy of self-consumption for sizing photovoltaic system. *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 239–254. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.11.205>.

**SHVEDCHYKOVA IRYNA**

*Doctor of Technical Sciences, Professor  
Department of Computer Engineering  
and Electromechanics*

*Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine*

<https://orcid.org/0000-0003-3005-7385>

*Scopus ID: 6503887672*

*Researcher ID: O-2765-2018*

*E-mail: [shvedchykova.io@knutd.edu.ua](mailto:shvedchykova.io@knutd.edu.ua)*

**PISOTSKYI ANDRII**

*PhD*

*Department of Computer Engineering  
and Electromechanics*

*Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine*

<https://orcid.org/0009-0003-3761-2019>

*Scopus ID: 58038796200*

*E-mail: [pisotskyi.av@knutd.edu.ua](mailto:pisotskyi.av@knutd.edu.ua)*

**SHVEDCHYKOVA I. O., PISOTSKYI A. V.**

*Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine*

**PRELIMINARY ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF A HYBRID  
WIND-SOLAR SYSTEM FUNCTIONING TO PROVIDE THE OWN NEEDS  
OF THE LOCAL CONSUMER**

**Purpose.** *A preliminary assessment of the efficiency characteristics of the functioning of a hybrid solar-wind system designed to meet the self-consumption needs of a local consumer, assuming the inability to generate surplus energy from renewable sources to the grid.*

**Methodology.** *Based on the use of analytical methods of statistical data processing, which enable a detailed analysis and interpretation of the obtained results.*

**Findings.** *The calculations of efficiency indicators have been carried out - the cost reduction coefficient and the self-sufficiency ratio for a conditional local facility with a specified load connected to the grid. Based on the calculation results, the choice of location for placing a hybrid system with renewable energy sources has been justified. An analysis of periods with high and low renewable energy generation in the specified location has been conducted to determine rational equipment parameters and strategies for energy flows managing for maximum self-sufficiency of the local consumer.*

**Originality.** *It has been established that during the planning of hybrid system, it is possible preliminary to assess the efficiency indicators for a simplified configuration of a hybrid system that does not involve the use of energy storage devices.*

**Practical value.** *The paper provides recommendations for evaluating the efficiency of hybrid solar-wind systems at the initial stages of system development. It is shown that assessing the loss reduction coefficient based on the average monthly generation of renewable energy sources, averaged over a multi-year period, can lead to the incorrect result (inflated values of the indicators). For more accurate assessments, it is recommended to calculate efficiency indicators using hourly values of renewable energy generation.*

**Keywords:** *hybrid power supply system; photovoltaic battery; wind turbine; self-consumption; self-sufficiency; cost reduction factor.*

УДК 534.232

ШИШКОВА К. А., КОЗАК А. В.

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

### НАПРАВЛЕНІ ВЛАСТИВОСТІ КРУГОВОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО П'ЄЗОКЕРАМІЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ПЛОСКИМ ЕКРАНОМ В ДІАМЕТРАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ

**Мета.** Дослідження направлених властивостей кругового циліндричного п'єзокерамічного перетворювача з плоским екраном в діаметральній площині. Основні етапи дослідження включають розгляд конструкції цього перетворювача та запропоновану нову схему побудови, розрахунки і аналіз результатів використання плоского акустично м'якого екрану для поліпшення випромінювальних характеристик, а також визначення впливу розміру екрану на діаграму направленості та імпеданс випромінювання.

**Методика** дослідження включала в себе застосування методу зв'язаних полів у багатозв'язних областях для визначення акустичних полів екранованого перетворювача. На основі цього методу було отримано аналітичні співвідношення для акустичних полів та нормований вираз діаграми направленості та імпедансу.

Проведено розрахунки та аналіз кількісних результатів використання плоского акустично м'якого екрану у циліндричних перетворювачах з метою поліпшення їх випромінювальних характеристик. Запропоноване розміщення екрану в діаметральній площині перетворювача забезпечує рівномірне випромінювання в широкому секторі просторових кутів і малий рівень випромінювання звуку в певному напрямку. Це дозволяє створити максимальну випромінюючу поверхню перетворювача і забезпечити односторонню направленість його випромінювання. Крім того, екранований перетворювач має майже незмінний імпеданс випромінювання порівняно з неекранованим, що спрощує узгодження з електронним генератором.

**Результати.** Отримані результати свідчать про те, що розміщення плоского акустично м'якого екрану в діаметральній площині перетворювача дозволяє досягти рівномірного випромінювання в широкому секторі просторових кутів та низького рівня випромінювання в конкретному напрямку. Ця особливість дозволяє створити максимальну випромінюючу поверхню перетворювача та забезпечити односторонню направленість випромінювання. Крім того, встановлено, що розмір екрану та дифракційні процеси мають важливий вплив на характеристики перетворювача.

**Практична значимість** цього дослідження полягає в можливості покращити випромінювальні характеристики циліндричних перетворювачів шляхом використання акустично м'якого екрану. Це може бути корисним у багатьох галузях, де важлива одностороння направленість випромінювання, таких як розробка сонарів, медичних ультразвукових пристроїв, військова та оборонна техніка та інші застосування, де важливо досягти оптимальних акустичних характеристик.

**Ключові слова:** круговий циліндричний перетворювач; плоский екран; діаметральна площина; хвильові розміри; направлені властивості.

**Вступ.** Акустика та акустичні прилади набули широкого застосування на початку 20-го століття. На той час їх застосування було виключно військового характеру – різноманітні системи протиповітряної оборони (ППО), відслідковування субмарин, пошук та встановлення об'єктів за допомогою гідролокації, тощо. У післявоєнний період використання акустичних приладів та систем набуло промислового характеру – пошук та встановлення місцесховищ корисних копалин, рибальство, кораблебудування, розвиток теле-та радіо-бачення і багато іншого.

На сьогодні акустичні системи та прилади представляють високотехнологічні пристрої, здатні відтворювати звук різного типу і відповідно різного призначення. Найбільш широкого

розповсюдження набули прилади акустичної локації, котрі застосовуються, як в цивільній сфері (акустична та гідролокація під час наукових досліджень та надзвичайних ситуацій), так і у військовій (протиснайперські комплекси) та може бути віднесена до технологій подвійного призначення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В практичній електроакустиці значне поширення знайшли локаційні системи, акустичні антени яких виконані у вигляді кругових циліндричних антен [1–3]. При цьому у якості перетворювачів використовуються екрановані циліндричні електромеханічні коливальні системи. Вони являють собою герметизовані п'єзокерамічні кільця, покриті ззовні акустичним екраном м'якого типу, виконаним у вигляді незамкнутого кільцевого шару кінцевої товщини. Ця товщина вибирається в залежності від робочої частоти і рівня гідростатичного тиску, в умовах яких працює акустична антена [4, 5]. При цьому особливість застосованого акустичного екрану полягає в тому, що при зникненні робочої частоти локаційної системи товщина екрану повинна збільшуватися. В свою чергу збільшення товщини екрануючого шару в циліндричних перетворювачах кругової антени обумовлює необхідність збільшення міжцентрової відстані між перетворювачами. Але з точки зору формування заданих направлених властивостей акустичної антени відстань між центрами перетворювачів не повинна перевищувати  $d \leq 0.65\lambda$ , де  $\lambda$  – довжина робочої хвилі гідроакустичного сигналу.

**Постановка Завдання.** При побудові кругових антен для низькочастотних локаційних систем, ліквідація встановленого вище недоліку може здійснюватися трьома шляхами: використанням стержньових перетворювачів [7]; зміною схеми побудови кругової циліндричної антени по типу, запропонованому в роботі [5]; зміною схеми екранування циліндричного перетворювача [4].

Розглянемо більш детально останню пропозицію, фізична модель якої наведена на рис. 1. Екранований циліндричний перетворювач складається із п'єзокерамічного циліндра 1 і акустичного екрану 2.

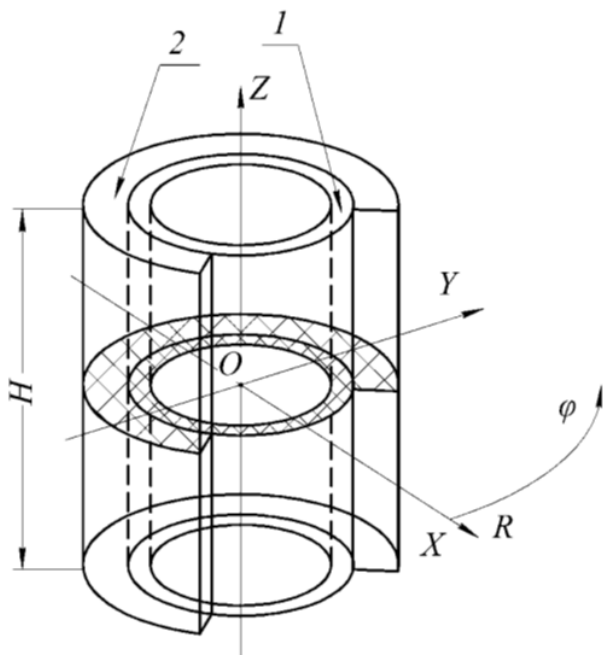


Рис. 1. Фізична модель екранованого перетворювача, де 1 – електроакустичний перетворювач; 2 – акустичний екран, виконаний у вигляді незамкнутого кільцевого шару

Останній може бути виконаний у вигляді плоского акустично м'якого екрану малої товщини, розміщеного в діаметральній площині перетворювача. З точки зору перетворення енергії така схема побудови перетворювача збільшує його акустичне навантаження завдяки збільшенню площі випромінюючої поверхні. Це дозволяє суттєво збільшити його смугу резонансних частот, що важливо для локаційних систем. З точки зору формування акустичного поля така фізична модель побудови перетворювача забезпечує його переважне одностороннє випромінювання енергії зі сторони, протилежної екрану.

**Методика та матеріали.** Визначимо акустичні поля циліндричного п'єзокерамічного перетворювача з екраном в діаметральній площині. Розрахункова модель екранованого перетворювача (рис. 2), яка відповідає фізичній моделі (рис. 1), складається із кругового циліндричного випромінювача 1 з окружною поляризацією та тильного екрану. Внутрішня порожнина п'єзокерамічної оболонки випромінювача товщиною  $h$  може бути вакуумована, заповнена газом або рідиною з густиною  $\rho_1$  та швидкістю звуку  $c_1$ .

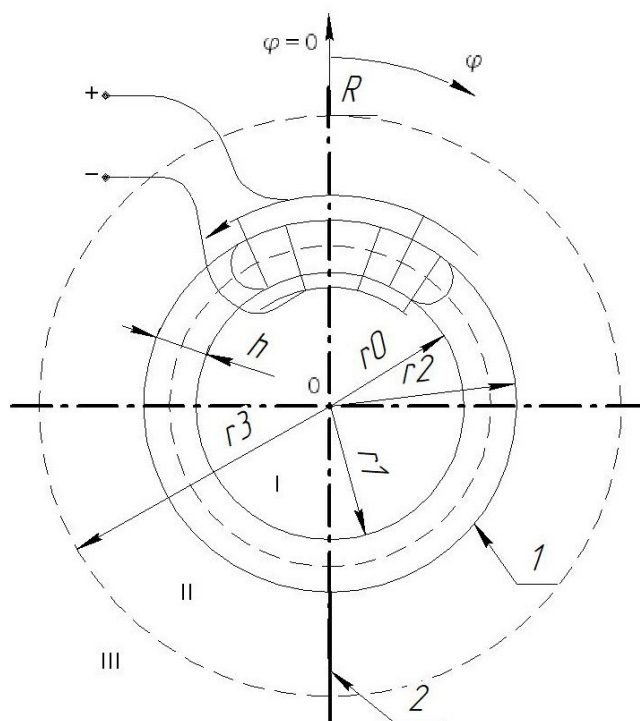


Рис. 2. Розрахункова модель екранованого перетворювача

Окружна поляризація реалізується шляхом побудови оболонки з жорстко склеєних між собою  $N$  п'єзокерамічних призм, котрі електрично увімкненні паралельно. До електродів призм підводиться електрична напруга, що гармонічно змінюється у часі  $\psi = \psi_0 e^{-i\omega t}$  частотою  $\omega$ , де  $i$  – уявна одиниця. Тонкий тильний екран антени виконаний з акустично м'якого матеріалу. Антена розташована в середовищі з густиною  $\rho$  та швидкістю звуку  $c$ .

Зауважимо, що на відміну від радіолокаційних антен акустичні антени виконують дві функції – функцію перетворення енергії і функцію формування енергії в оточуючих середовищах. При випромінюванні звукової енергії електрична енергія збудження випромінювачів акустичної антени спочатку перетворюється в механічну енергію коливань електромеханічних коливальних систем перетворювачів. Ці механічні коливання перетворювачів збуджують коливальні процеси в середовищах, що оточують ці перетворювачі, завдяки чому в них поширюється акустична енергія.

Кожна з цих функцій має свої особливості. Особливістю функції перетворення енергії в перетворювачах, побудованих із п'єзокераміки, є взаємодія електричних, механічних та акустичних полів [9]. Формування акустичної енергії в оточуючих акустичні антени середовищах теж має свої акустичні особливості, фізичною основою яких є багатократне перевідбиття від елементів конструкцій антен і перетворювачів випромінених і відбитих звукових хвиль [10]. Цей процес отримав назву акустичної взаємодії. І, нарешті, функції перетворення енергії та її формування теж пов'язані між собою завдяки присутності в кожній з них акустичних полів [3].

В математичному відношенні при визначенні акустичних полів необхідно враховувати всі визначені вище види взаємодій: фізичних полів при перетворенні енергії, акустичної взаємодії при її формуванні та взаємодії процесів перетворення формування енергії. Це врахування може бути здійснено шляхом сумісного розв'язку диференціальних рівнянь, що описують відповідні процеси.

З урахуванням припущень, що висота антени перевищує 5–7 довжин хвиль [4] при введених системах координат (рис. 2) акустичне поле розглянутого перетворювача визначається через спільне вирішення:

Рівняння вимушеної електростатики для п'єзокераміки

$$\vec{E} = -\nabla\psi, \quad \text{div}\vec{D} = 0.$$

Рівняння руху тонких оболонок з окружною поляризацією в переміщеннях

$$\begin{aligned} (1 + \beta) \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial w}{\partial \varphi} - \beta \frac{\partial^3}{\partial \varphi^3} &= \alpha \gamma \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \\ -\frac{\partial u}{\partial \varphi} + \beta \left( \frac{\partial^3 u}{\partial \varphi^3} - \frac{\partial^4 w}{\partial \varphi^4} \right) - w - \frac{e_{33}^{33}}{C_{33}^E} r_0 \frac{n}{2\pi} \frac{\psi_0}{r_0} + & \\ \frac{\alpha}{h} q_r = \alpha \gamma \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} & \end{aligned} \quad (1)$$

Рівняння Геймгольца, що описує рух середовищ всередині та зовні випромінювача

$$\Delta\Phi + k^2\Phi = 0,$$

де  $\vec{E}$  та  $\vec{D}$  – вектори напруженості та індукції електричного поля;  $\Delta$  – оператор Лапласа;  $\Phi$  – потенціал швидкості;  $k$  – хвильові числа зовнішнього та внутрішнього середовищ;  $u, w$  – тангенціальна та нормальна складові вектору зміщення точок серединної поверхні оболонки;  $b = \frac{h^2}{12r_0^2} \left( 1 + \frac{e_{33}^2}{C_{33}^E \varepsilon_{33}^S} \right)$ ;  $\alpha = \frac{r_0^2}{C_{33}^E}$ ;  $q$  – зовнішнє навантаження;  $C_{33}^E; \varepsilon_{33}^S; e_{33}$  – модуль пружності при нульовій електричній напруженості, діелектрична проникність при нульовій деформації, п'єзоконстанта відповідно;  $\gamma$  – густина матеріалу п'єзокерамічної оболонки випромінювача.

Граничні умови на поверхні приймають вигляд  $\Phi = 0, |\varphi| = \pi, r_2 \leq r \leq r_3$ . Електричні умови зводяться до задання напруженості електричного поля в п'єзокерамічній оболонці  $E_\varphi = -\psi_0 N / (2\pi r_0)$ . Ці умови доповнюються умовами випромінювання на нескінченності.

Розіб'ємо всю область існування фізичного поля антени на три часткові області I, II, III (рис. 2). Тоді повна система вихідних співвідношень задачі буде містити наступні умови поєднання полів на кордоні розділу областей:

$$\begin{aligned}
 -\frac{\partial \Phi_I}{\partial r} &= \frac{\partial w}{\partial t}, \quad 0 \leq |\varphi| \leq \pi, \quad r = r_1, \\
 -\frac{\partial \Phi_{II}}{\partial r} &= \frac{\partial w}{\partial t}, \quad 0 \leq |\varphi| \leq \pi, \quad r = r_2, \\
 q_r &= -\left( \rho \frac{\partial \Phi_{II}}{\partial t} - \rho_1 \frac{\partial \Phi_I}{\partial t} \right), \quad 0 \leq |\varphi| \leq \pi, \quad r = r_2, \\
 \Phi_{III} &= \Phi_{II}, \quad 0 \leq |\varphi| \leq \pi, \quad r = r_3, \\
 \frac{\partial \Phi_{III}}{\partial r} &= \frac{\partial \Phi_{II}}{\partial r}, \quad 0 \leq |\varphi| \leq \pi, \quad r = r_3
 \end{aligned} \tag{2}$$

Представимо шукані величини  $u, w, \Phi$  у вигляді розкладів рядів Фур'є по відповідним функціям:

$$\begin{aligned}
 u &= \sum_{n=0}^{\infty} u_n \sin(n\varphi), \quad w = \sum_{n=0}^{\infty} u_n \cos(n\varphi), \\
 \Phi_I &= \sum_{n=0}^{\infty} E_n J_n(kr) \cos(n\varphi), \\
 \Phi_{II} &= \sum_{q=0}^{\infty} \left[ A_q J_{m_q}(kr) + B_q N_{m_q}(kr) \cos(m_q \varphi) \right], \\
 \Phi_{III} &= \sum_{s=0}^{\infty} F_s H_s^{(1)}(kr) \cos(s\varphi),
 \end{aligned} \tag{3}$$

де  $J_n(kr), N_n(kr), H_s^{(1)}(kr)$  – традиційні позначення функцій Бесселя, Неймана, Ханкеля першого роду відповідно;  $m_q = (2q + 1) / 2$  – визначається з граничної умови на екрані.

Алгебраїзація системи рівнянь (1), (2) на основі співвідношень (3) та відповідних властивостей повноти та ортогональності власних кутових функцій з урахуванням вигляду  $m_q$  приводить до системи лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases}
 w_n \left( R_n + \frac{\alpha \omega \rho_1 c_1}{h} \frac{J_n(k_1 r_1)}{J_n'(k_1 r_1)} \right) N_n - i \omega \frac{\alpha}{h} \rho_2 \sum_{q=0}^{\infty} \left[ A_q J_{m_q}(k_2 r_2) + B_q N_{m_q}(k_2 r_2) \right] N_{nq} = \\
 = -\frac{e_{33}}{C_{11}^E} \frac{n \Psi_0}{2\pi} b_n; n = 0, 1, 2, 3, \dots \\
 \left[ A_q J_{m_q}'(k_2 r_2) + B_q N_{m_q}'(k_2 r_2) \right] N_q - i c_2 \sum_{n=0}^{\infty} w_n N_{nq} = 0; q = 0, 1, 2, 3, \dots \\
 F_s H_s^{(1)}(k_2 r_3) N_s - \sum_{q=0}^{\infty} \left[ A_q J_{m_q}(k_2 r_3) + B_q N_{m_q}(k_2 r_3) \right] N_{sq} = 0, s = 0, 1, 2, 3, \dots \\
 \left[ A_q J_{m_q}'(k_2 r_3) + B_q N_{m_q}'(k_2 r_3) \right] N_q - \sum_{n=0}^{\infty} F_s H_s^{(1)}(k_2 r_3) N_{sq} = 0; q = 0, 1, 2, 3, \dots
 \end{cases} \tag{4}$$

$$\text{де } R_n = \frac{\alpha^2 \gamma^2 \omega^4 - \alpha \gamma \omega^2 (1 + \beta n^2)(n^2 + 1) + \beta n^2 (n^2 + 1)^2}{\alpha \gamma \omega^2 - (1 + \beta) n^2};$$

$$N_n = \begin{cases} 2\pi, n = 0; \\ \pi, n \neq 0. \end{cases}$$

$$N_{nq} = \begin{cases} \varphi_0, n = m_q; \\ \frac{2m_q(-1)^{q+1} \cos(n\varphi_0)}{n^2 - m_q^2}, n \neq m_q; \end{cases}$$

$$N_q = \begin{cases} 2\varphi_0, m_q = 0; \\ \varphi_0, m_q \neq 0. \end{cases};$$

$$N_s = \begin{cases} 2\pi, s = 0; \\ \pi, s \neq 0. \end{cases};$$

$$N_n = \begin{cases} \varphi_0, s = m_q; \\ \frac{2m_q(-1)^{q+1} \cos(s\varphi_0)}{s^2 - m_q^2}, s \neq m_q. \end{cases}$$

Ця система використовується для визначення не відомих коефіцієнтів розкладу  $u_n, w_n, E_n, A_q, B_q, F_s$  і є вихідною для отримання кількісних даних про акустичні поля п'єзокерамічного перетворювача.

Використаємо отримані аналітичні співвідношення для встановлення направлених та імпедансних властивостей досліджуваного перетворювача. З урахуванням виразу (3) наближені значення нормованої діаграми направленості екранованого перетворювача приймуть вигляд

$$R(\varphi) = \frac{\left| \sum_{n=0}^M F_s e^{j\frac{\pi}{2}n} \cos n\varphi \right|}{\left| \sum_{n=0}^M F_s e^{j\frac{\pi}{2}n} \cos n\varphi_{\max} \right|},$$

де  $\varphi_{\max}$  – напрям максимальної інтенсивності випромінювання;  $M$  – рівень редукції нескінченної системи лінійних алгебраїчних рівнянь для визначення коефіцієнтів розкладу в ряди Фур'є механічних та акустичних полів

Імпеданс випромінювача на одиницю висоти перетворювача визначається виразом:

$$Z = \frac{j\omega\rho r_0}{v_0} \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} \Phi_1 v_0 f(\varphi) d\varphi, \quad (5)$$

де  $\rho$  – густина рідини зовнішнього середовища. Маючи вираз (3) для потенціалу швидкості  $\Phi_1$ , вираз (5) можливо привести до вигляду:

$$Z = \rho c S_{\text{длс}} [R' + jX'],$$

де  $c$  – швидкість звуку в середовищі;  $S_{\text{длс}} = 2r_0\varphi_0$  – площа випромінюючої поверхні на одиницю висоти.

$$R' = \frac{1}{\pi\varphi_0 r_0} \sum_{q=0}^{\infty} A_q^R \frac{2}{\pi} L_q \frac{N_q}{N'_{m_q}(kr_0)};$$

$$X' = -\frac{1}{2\varphi_0 r_0} \sum_{q=0}^{\infty} \left[ A_q^R \frac{2}{\pi} + r_0 L_q N'_{m_q}(kr_0) \right] \frac{L_q N_q}{N'_{m_q}(kr_0)};$$

$$A_q^R = \text{Re } A_q; A_q^I = \text{Im } A_q;$$

Величини  $R'$  та  $X'$  представляють собою безрозмірні активну та реактивну вкладові імпедансу випромінювання.

**Результати.** На основі отриманих співвідношень виконаємо чисельний аналіз направлених та імпедансних властивостей перетворювача з екраном, що розглядається. Розрахунки виконувалися для випадку перетворювача з вакуумованим внутрішнім об'ємом при збудженні на нульовій моді коливань наступних значеннях хвильових розмірів:  $kr_2 = 4,52; 3,14; 2,26; 1,57; kr_3 = 17,96$ . Досліджувалися в залежності від хвильових розмірів; діаграми направленості; сектор основного випромінювання  $\theta_{0,7}$ ; нерівномірність діаграми в межах кута  $\theta_{0,7}$  і рівень тильної пелюстки  $\sigma_\tau$ . Результати розрахунків представлені на рис 3 і 4. Графіки рис 3 демонструють кутову залежність в дальній зоні нормованих амплітуд звукового тиску.

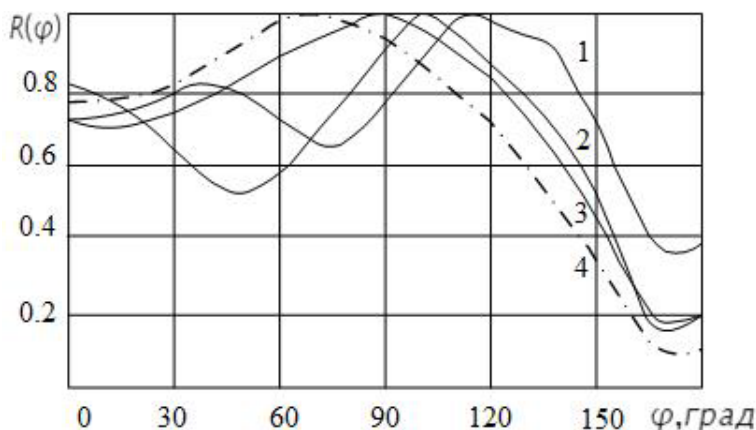


Рис. 3. Кутова залежність направлених властивостей перетворювача з екраном

Криві 1, 2, 3, 4 відповідають послідовно наведеним вище значенням  $kr_2$ . Криві рис. 4 показують залежності сектору  $\theta_{0,7}$  основного випромінювання (рис. 4а), нерівномірності  $L$  діаграми направленості в цьому секторі (рис. 4б) та рівня  $\sigma_\tau$  тильної пелюстки цієї діаграми (рис. 4в) від хвильової ширини плоского екрана  $\frac{r_3 - r_2}{\lambda}$ .

Активна  $R'$  та реактивна  $X'$  безрозмірні складові імпедансу випромінювання визначалися для випадку  $\frac{r_3}{r_2} = 2$  при збудженні випромінювача на нульовій моді його коливань. Результати розрахунків частотних залежностей представлені на рис. 5.

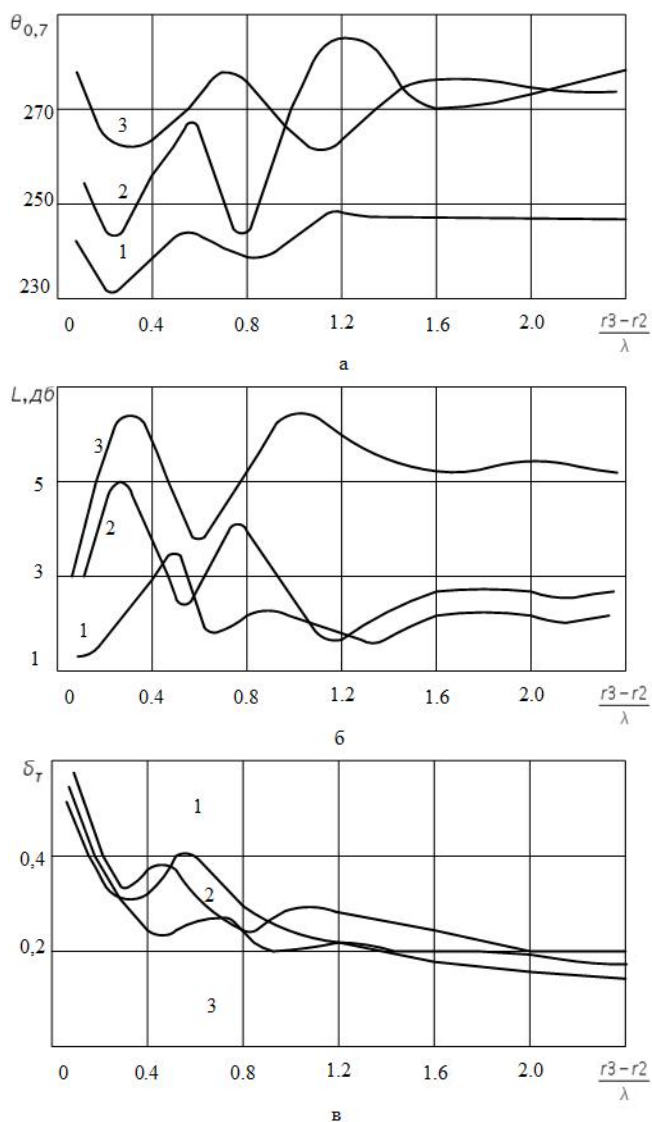


Рис. 4. Криві залежностей  $\theta_{0,7}$  (а),  $L$  (б) та  $\sigma_\tau$  (в) від хвильової ширини плоского екрана

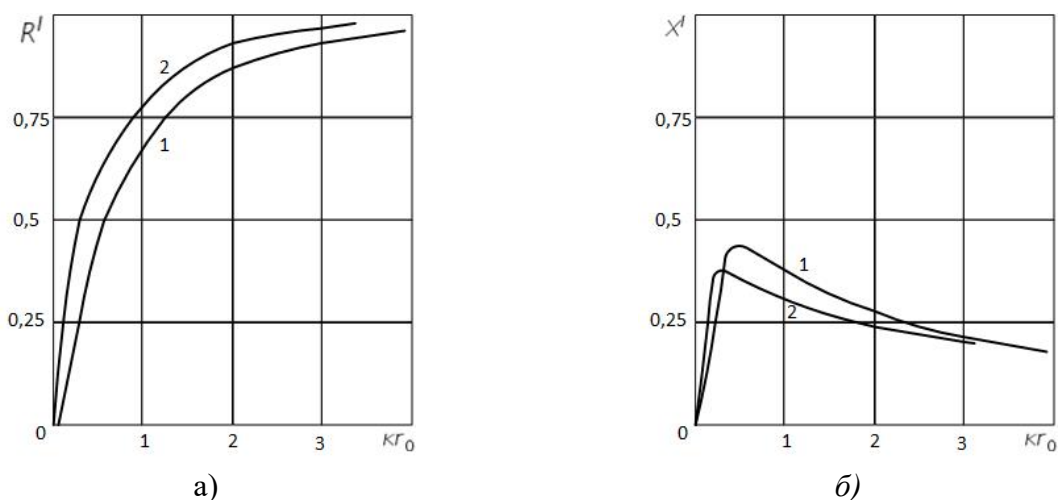


Рис. 5. Частотні залежності активної (а) та реактивної (б) безрозмірних складових імпедансу випромінювання на одиницю висоти випромінювача з екраном (криві 1) і без нього (криві 2)

**Обговорення.** Проаналізуємо отримані кількісні результати. Перш за все зауважимо, що запропоноване розміщення плоского акустично м'якого екрану в діаметральній площині циліндричного перетворювача забезпечує, по-перше такий важливий показник як відносно рівномірне випромінювання в широкому секторі просторових кутів і, по-друге, малий рівень випромінювання звуку в певному заданому напрямі. Таким чином, наведена схема екранування циліндричного перетворювача дозволяє створити не тільки максимальну випромінюючу поверхню перетворювача але й односторонню направленість його випромінювання. Зауважмо, що наведене забезпечує ще одну позитивну властивість екранованого перетворювача – його імпеданс випромінювання майже не змінюється порівняно з імпедансом не екранованого циліндричного перетворювача. Це важливо при узгодженні перетворювача із збуджуючим його електронним генератором. Аналіз кривих рис 3 свідчить про те, що діаграми направленості досліджуваного перетворювача є в певній мірі частково залежними. При цьому велика кривизна випромінюючої поверхні і великі хвильові розміри  $kr_2$ , п'єзокерамічного циліндра формують тенденцію утворення провалу на вісі основної пелюстки діаграми направленості. Наведене є результатом досягнення суттєвої величини фазових викривлень, обумовлених циліндричною поверхню фронту звукової хвилі, утвореної екранованим перетворювачем.

Проаналізуємо тепер залежності величини сектору основного випромінювання  $\theta_{0,7}$  нерівномірності  $L$  діаграми направленості в цьому секторі і рівня  $\sigma_r$  тильної пелюстки від хвильової ширини  $\frac{r_3 - r_2}{\lambda}$  екрану. На рис. 4 криві 1, 2, 3 відповідають значенням  $kr_2 = 1,57; 2,26; 3,14$ . Аналіз наведених кривих свідчить про те, що до значень  $\frac{r_3 - r_2}{\lambda} \leq 1$  має місце значна нерегулярність в поведінці величини  $\theta_{0,7}$ ,  $L$ ,  $\sigma_r$ . При цьому рівень тильної пелюстки залишається достатньо високим. Із зростанням хвильової ширини екрану значення величин  $\theta_{0,7}$  і  $L$  стабілізуються, а рівень тильної пелюстки прямує до нуля. Така поведінка вказаних величин підтверджує той факт, що дифракційні процеси найбільш ярко проявляють себе та мають найбільш складний характер коли розмір екрану порівняний з довжиною хвилі.

Як вже відмічалось, виконання акустичного екрану у вигляді тонкої плоскої пластинки і розміщення його в діаметральній площині циліндричної випромінюючої оболонки дозволяє суттєво збільшити акустичне навантаження оболонки, наблизивши його до оболонки без екрана. Це підтверджується частотними залежностями складових імпедансу випромінювання (рис. 5). Співставлення їх для екранованого випромінювача (криві 1) і не екранованого (криві 2) свідчить про те, що вплив акустично м'якого екрану розглянутої конфігурації і розміщення на імпедансі випромінювання циліндричного випромінювача відносно малий. Це в свою чергу спрощує розв'язок технічних складностей, які виникають при побудові систем «електронний генератор – п'єзокерамічний перетворювач».

**Висновки.** Проаналізовані можливі шляхи збереження існуючих схем побудови кругових акустичних циліндричних антен при переході роботи локаційних систем в низький діапазон частот.

Запропонована нова схема побудови для цього перетворювача у вигляді кругової циліндричної оболонки та плоского акустично м'якого екрану, розміщеного в її діаметральній площині. Методом зв'язаних полів в багатозв'язних областях розв'язана наскрізна задача випромінювання звуку таким екранованим перетворювачем. Отримані аналітичні співвідношення для акустичного поля використані при проведенні чисельних експериментів, що встановлюють частотні залежності направлених властивостей екранованого випромінювання

від хвильових розмірів плоского екрану. Визначені акустичні особливості кругового циліндричного перетворювача з акустичним екраном в діаметральній площині.

### References

### Література

1. Derepa, A. V., Leiko, A. G., Melenko, Yu. A. (2014). *Osnovy voenno-tehnicheskikh icsledovaniy. Teoriya i prilozheniya. T. 7. Kompleksnaja sistema "Osnovy voenno-tehnicheskikh isledovaniy. Teoriya i prilozheniya": monografija* [Fundamentals of military-technical research. Theory and applications. Vol. 7. Integrated system "Fundamentals of military-technical research. Theory and applications": monograph]. Kyiv: Publishing house D. Burago. 424 p. [in Russian].
1. Дерєпа А. В., Лейко А. Г., Меленко Ю. А. *Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т. 7. Комплексная система "Основы военно-технических исследований. Теория и приложения": монография*. К.: Изд. дом Д. Бураго, 2014. 424 с.
2. Derepa, A. V., Leiko, A. G., Melenko, Yu. A. (2016). *Osnovy voenno-tehnicheskikh icsledovaniy. Teoriya i prilozheniya. T. 8. Kompleksnaja sistema "Osnovy voenno-tehnicheskikh isledovaniy. Teoriya i prilozheniya": monografija* [Fundamentals of military-technical research. Theory and applications. Vol. 8. Integrated system "Fundamentals of military-technical research. Theory and applications": monograph]. Kyiv: Publishing house D. Burago. 400 p. [in Russian].
2. Дерєпа А. В., Лейко А. Г., Меленко Ю. А. *Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т. 8. Комплексная система "Основы военно-технических исследований. Теория и приложения": монография*. К.: Изд. дом. Д. Бураго, 2016. 400 с.
3. Didkovsky, V. S., Poroshin, S. M., Drozdenko, O. I. (2013). *Konstruiuvannia elektroakustychnykh prykladiv i system dlia multymediinykh akustychnykh tekhnolohii: navchalnyi posibnyk* [Design of electroacoustic devices and systems for multimedia acoustic technologies: initial handbook]. Kharkiv: FPP Amelyanchik. 390 p. [in Ukrainian].
3. Дідковський В. С., Порошин С. М., Дрозденко О. І. *Конструювання електроакустичних приладів і систем для мультимедійних акустичних технологій: навчальний посібник*. Х.: ФПП Амелянчик, 2013. 390 с.
4. Gusak, Z. T., Leiko, A. G., Derpna, A. V., Didkovsky, V. S. (2019). *Fizicheskie polja priemoizluchajushhih sistem p'ezokeramicheskikh cilindricheskikh preobrazovatelej s vneshnimi akusticheskim jekranom: monografija* [Physical fields of receiving-emitting systems of piezoceramic cylindrical transducers with external acoustic screen: monograph]. Kyiv: Publishing house V. Burago. 309 p. [in Russian].
4. Гусак З. Т., Лейко А. Г., Дерєпа А. В., Дідковський В. С. *Физические поля приемозлучающих систем пьезокерамических цилиндрических преобразователей с внешними акустическим экраном: монография*. К.: Изд. дом В. Бураго, 2019. 309 с.
5. Starovoyt, Y. I., Leiko, O. G., Derepa, A. V., Bogdanov, O. V. (2022). *Ob`iemni systemy z tsylindrychnymy p`iezokeramichnymy vuprominiuvachamy i ekranom: monohrafiia* [Volumetric systems with cylindrical petroceraamic vipromonitors and a screen: monograph]. Kyiv: Publishing House D. Burago. 293 p. [in Ukrainian].
5. Старовойт Я. І., Лейко О. Г., Дерєпа А. В., Богданов О. В. *Об`ємні системи з циліндричними п`езокерамічними випромінювачами і екраном: монографія*. К.: Изд. дом Д. Бураго, 2022. 293 с.
6. Grinchenko, V. T., Vovk, I. V. (1986). *Volnovye zadachi rassejaniya zvuka na uprugih obolochkah: monografija* [Wave problems of sound scattering on elastic shells: monograph]. Kyiv: Nauk. dumka. 24 p. [in Russian].
6. Гринченко В. Т., Вовк И. В. *Волновые задачи рассеяния звука на упругих оболочках: монография*. К.: Наук. думка, 1986. 24 с.
7. Kocharyan, O. O. (2021). *Metodyka otsinky vplyvu stryzhnevyykh peretvoriuvachiv na znachennia osnovnykh pokaznykiv anten zminnoi hlybiny korabelnykh hidroakustychnykh stantsii: dysertatsiia kand. tekhn. nauk*. [Methodology for assessing the influx of jet transformers on the values of the main indicators of the antennas of the
7. Кочарян О. О. *Методика оцінки впливу стрижневих перетворювачів на значення основних показників антен змінної глибини корабельних гідроакустичних станцій: дисертація канд. техн. наук*. К., 2021.

seabed hydroacoustic stations: Ph. D. dissertation technical sciences]. Kyiv [in Ukrainian].

8. Gusak, Z. T., Leiko, A. G. (2016). Chastotnye svojstva jelektricheskikh polej cilindricheskoj gidroakusticheskoj anteny s ploskim jekranom v diametral'noj ploskosti [Frequency properties of electric fields of a cylindrical hydroacoustic antenna with a flat screen in the center plane]. *Izv. vuzov. Radioelektronika = Izv. universities Radioelectronics*, No. 6 (59), P. 38–46 [in Russian].

9. Grinchenko, V. T., Ulitko, A. F., Shulga, N. A. (1989). *Mekhanika svyaznih polej v jelementah konstrukcii. T. 5. Jelektrouprugost': monografija* [Mechanics of connected fields in structural elements. Vol. 5. Electroelasticity: monograph]. Kyiv: Nauk. dumka. 280 p. [in Russian].

10. Leiko, A. G., Shamarin, Yu. E., Tkachenko, V. P. (2000). *Podvodnye akusticheskie anteny. Metody rascheta zvukovyh polej: monografija* [Underwater acoustic antennas. Methods for calculating sound fields: monograph]. Kyiv: Avanpostprim. 320 p. [in Russian].

8. Гусак З. Т., Лейко А. Г. Частотные свойства электрических полей цилиндрической гидроакустической антенны с плоским экраном в диаметральной плоскости. *Изв. вузов. Радиоэлектроника*. 2016. № 6 (59). С. 38–46.

9. Гринченко В. Т., Улитко А. Ф., Шульга Н. А. *Механика связных полей в элементах конструкции. Т. 5. Электроупругость: монография*. К.: Наук. думка, 1989. 280 с.

10. Лейко А. Г., Шамарин Ю. Э., Ткаченко В. П. *Подводные акустические антенны. Методы расчета звуковых полей: монография*. К.: Аванпостприм, 2000. 320 с.

**SHYSHKOVA KATERYNA**

Post graduate student,

Department of Acoustic and  
Multimedia Electronic Systems,

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-8564-5582>

E-mail: [ket199406@gmail.com](mailto:ket199406@gmail.com)

**KOZAK ANDRII**

Post graduate student,

Department of Acoustic and  
Multimedia Electronic Systems,

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-4756-7931>

Scopus Author ID: 57214137197

E-mail: [andrekaka1996@gmail.com](mailto:andrekaka1996@gmail.com)

**SHYSHKOVA K. A., KOZAK A. V.**

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

## **DIRECTIONAL PROPERTIES OF A CIRCULAR CYLINDRICAL PIEZOCERAMIC TRANSDUCER WITH A FLAT SCREEN IN THE DIAMETRICAL**

**Purpose.** The primary objective of this study is to comprehensively investigate the directional properties of a circular cylindrical piezoceramic transducer equipped with a flat screen in its diametrical plane. The research aims to assess the feasibility of enhancing the transducer's radiating characteristics through the implementation of this novel design.

**Methodology.** The methodology employed in this research involved the utilization of the coupled field method in composite regions to determine analytical relationships for the acoustic fields generated by the screened transducer. This approach allowed for the derivation of normalized expressions for the radiation pattern and impedance. Extensive calculations and quantitative analyses were conducted to evaluate the efficacy of integrating a flat acoustically soft screen into cylindrical transducers. This assessment focused on improving their radiation properties.

**Findings.** The study revealed several significant findings. Firstly, the placement of a flat acoustically soft screen in the diametrical plane of the transducer resulted in uniform radiation across a broad spatial angle sector and minimized sound radiation in specific directions. This innovation enabled the creation of a larger radiating surface for the transducer and facilitated unidirectional radiation. Moreover, the screened transducer demonstrated minimal alterations in radiation impedance when compared to its unshielded counterpart, simplifying the matching process with electronic generators.

The research also examined the relationship between the screen's wavelength and key parameters, such as the size of the main radiation sector, the nonuniformity of the radiation pattern within this sector, and

the level of backlobe radiation. It was observed that increasing the screen's wavelength led to stabilization in the values of these parameters and a reduction in backlobe radiation. This highlighted the substantial influence of diffraction processes, particularly when the screen size approached the wavelength.

Furthermore, the introduction of an acoustic screen in the form of a thin flat plate in the transducer's diametrical plane significantly enhanced the acoustic loading of the cylindrical radiating shell, nearly matching that of an unshielded shell. Frequency dependencies of the radiation impedance components further emphasized the screen's minimal impact on the transducer's radiation impedance.

**Originality.** This research introduces an innovative design for cylindrical transducers by incorporating a flat acoustically soft screen, leading to improved radiation characteristics. The analysis of diffraction processes and their impact on key parameters contributes to the originality of the study. Additionally, the research emphasizes the importance of screen size and its influence on transducer performance.

**Practical Value.** The practical significance of this study lies in its potential to enhance the radiating properties of cylindrical transducers, making them more efficient for applications where directional radiation is crucial. This innovation has relevance in diverse fields such as sonar technology, medical ultrasound devices, defense equipment, and various other applications where optimizing acoustic characteristics is essential. Additionally, the simplified matching process with electronic generators facilitates practical implementation in real-world systems.

**Keywords:** circular cylindrical converter; flat screen; diametrical plane; wave dimensions; directional properties.

УДК 677.025.4:  
677.017.36:  
677.017.6

<sup>1</sup>ARABULI A., <sup>2</sup>BAJZIK V., <sup>3</sup>KYZYMCHUK O.

<sup>1</sup>Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Technical University of Liberec, Liberec, Czech Republic

<sup>3</sup>Technische Universität Dresden, Dresden, Germany

## ELECTROMAGNETIC SHIELDING EFFECTIVENESS OF HYBRID KNITTED FABRICS WITH STAINLESS STEEL WIRE

**Purpose.** The purpose of this paper was to research innovative and simple approaches toward developing an effective hybrid knitted fabric for electromagnetic shielding application.

**Methodology.** The work uses the basics of textile material science and the theory of knitting, methods of analysis and synthesis of the obtained results. The electromagnetic shielding effectiveness of the hybrid knitted fabrics was measured using a far-field electromagnetic plane wave by the method in ASTM D 4935-18 for planar materials. The shielding efficiency of knitting textiles in the frequency range from 0 GHz to 3 GHz are presented in a paper in terms of the main mechanisms of EMR attenuation: absorption and reflection.

**Results.** A comprehensive evaluation of electromagnetic shielding characteristics of hybrid knitting fabrics has been done in this work. The conductive hybrid fabrics were produced by using cotton yarns and stainless steel wire in 4 types of knitting interlooping (Rib 1+1, Half Milano rib, Half-cardigan and Cardigan) to determine the electromagnetic shielding effectiveness, absorption and reflection values over an incident frequency of 0–3 GHz. For all hybrid knitting samples, a general trend was that shielding effectiveness has peak values of 23÷50 dB in the interval from 200 to 900 MHz. This indicates the "excellent" level of shielding from EMR of the developed hybrid knitted fabric in the indicated frequency range.

**Scientific novelty.** The main factor that determines the shielding ability of knitting textiles is the positioning of the metal components in the structure. The knitted structure of half Milano rib demonstrates the highest shielding efficiency due to the arrangement of the structural elements namely loops and tucks.

**Practical significance.** Hybrid knitted fabrics containing stainless steel wire (the stainless steel wire was fed into the knitting area along with the cotton yarn) have low reflection percentages and high absorption percentages in the entire range of frequencies and may be used as electromagnetic wave absorbents.

**Keywords:** knitted fabrics; stainless steel; electromagnetic radiation; shielding effectiveness; absorption; reflection; multiplied reflection.

**Introduction.** In apply physic, the term "shield" refers to an enclosure that completely covers an electronic device (human being) or a portion of that device (human being) and acts as a barrier to the transmission of electromagnetic radiations. "Shielding" is a process of achieving a certain level of attenuation using a suitably designed shield.

The electromagnetic (EM) shielding effectiveness (SE) [dB] is determined as the logarithm of the ratio of the total input to transmitted power, electric field or magnetic field of the electromagnetic microwaves, as shown by the equation [1]:

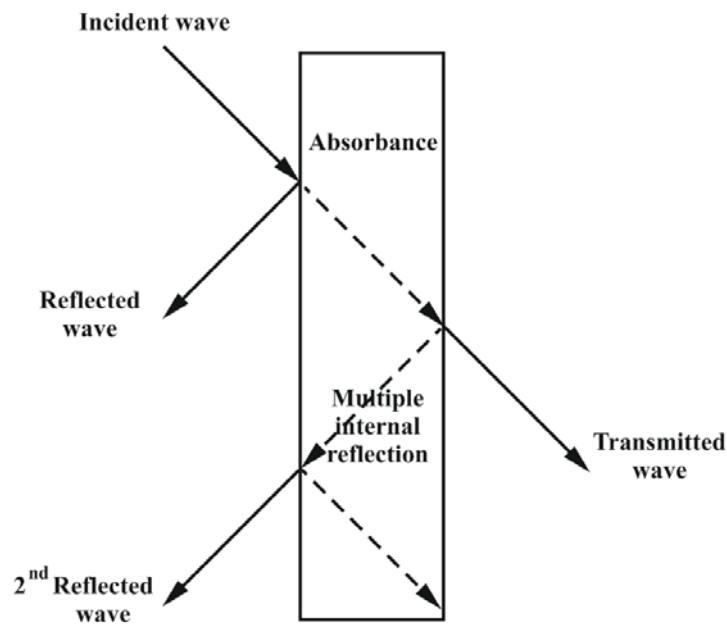
$$SE = -10\log P_1/P_2, \quad (1)$$

where  $P_1$  – power generated by interference source;

$P_2$  – power passing through the shielding material.

Fig. 1 shows the behavior of an EM wave incident on a textile material of finite thickness and infinite transversal dimensions. The mechanism of reflection loss on the textile is due to the transition of the EM wave that propagating of free-space conditions ( $Z = Z_0$ ), where the propagating constant is a function of the electrical conductivity, permittivity and permeability. Absorption losses depended to the finite conductivity of the textile and its depth ( $\delta$ ) and its thickness – these losses are reflected in the textile material through heat exchange. Multiple reflection losses are due to the multiple

reflection of the EM wave between the air-textile material interfaces on either side of the textile material.



Source: [2].

Figure 1. Basic mechanisms of electromagnetic shielding

Equation (1) can be expressed in a form that corresponds to the physical mechanisms of the shielding effect [3]:

$$SE = SE_R + SE_A + SE_M, \quad (2)$$

where  $SE_R$  – attenuation by reflection;

$SE_A$  – absorbent attenuation;

$SE_M$  – attenuation caused by multiplied reflection.

Reflection is the primary mechanism of EM shielding. For reflection the shield must necessarily have mobile charge carriers of electrons or holes, which interact with the EM fields in the radiation. Thus, the shield must be electrically conductive, but high conductivity is not required. The metals are the most common materials for EM shielding. The metals function mainly by reflection. Metal sheets have many disadvantages: weight, inflexibility and high cost. So, for shielding are commonly used metal coatings made by vacuum deposition, electroplating or electroless plating [4–6].

The reflection loss under plane wave can be expressed as [2]:

$$SE_R = 20 \log \left| \frac{Z_0 + Z_M}{2Z_M} \cdot \frac{Z_0 + Z_M}{2Z_0} \right|, \quad (3)$$

where  $Z_0$  – impedance of environment (dielectric);

$Z_M$  – impedance of material.

Absorption is usually the secondary mechanism of electromagnetic radiation (EMR) shielding. This type of attenuation occurs by absorption of energy by the shield due to heat losses [7]. As can we see in Figure 1 when an EM wave passes through a material its amplitude decreases exponentially. These absorption losses occurs by currents induced in the medium produce ohmic losses and heating of material. Absorption loss can be expressed as [8]:

$$SE_A = 20 \log e^{\frac{t}{\delta}}, \quad (4)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}}, \quad (5)$$

where  $t$  – material thickness;  
 $\delta$  – intrusion depth;  
 $\sigma$  – conductivity;  
 $\mu$  – permeability;  
 $\omega$  – wave frequency.

The third a mechanism of shielding is multiple reflections. These reflections are reflection at a variety of surfaces of shield. This mechanism requires a large surface area or interface area in the shield. Porous or foam materials are an examples of a shield with a large surface area. Composite materials containing filler with large surface area are an example of a shield with a large interface area. The losses due to multiple reflections are neglected when the distance between the interfaces or reflecting surfaces are large compared to the skin depth. The attenuation due these multiple reflections can be showed as [9]:

$$SE_M = 20 \log \left| 1 - e^{-\frac{2t}{\delta}} \right|. \quad (6)$$

Individual characters indicate:  
 $Z_0$  – impedance of environment (dielectric);  
 $Z_M$  – impedance of material.

Textile materials for electromagnetic shielding are widely used in the manufacturing of high-tech and new-generation interactive structures. Due to their flexibility and comfort [10], low weight [11], protection against radio frequency interference they have advantages compared to metal sheets.

Textiles depending on the scope of their use for protection against EMR require screening performance (see Table 1).

Table 1

**Electromagnetic effectiveness range of textile**

Class	Grade				
	Excellent	Very good	Good	Moderate	Fair
Professional use	SE < 60dB	60dB ≥ SE < 50dB	50dB ≥ SE < 40dB	40dB ≥ SE < 30dB	30dB ≥ SE < 20dB
General use	SE < 30dB	30dB ≥ SE < 20dB	20dB ≥ SE < 10dB	10dB ≥ SE < 7dB	10dB ≥ SE < 7dB

Source: [12].

Textiles do not protect against EMR, however, it can be successfully converted into protective textile after creating a new production process, adapting technologies or changing the raw material composition that can make them electrically conductive.

The main publications on EMR shielding concern new textiles [13–15] and production methods [16, 17] as well as their functional properties [18]. Some publications cover the mechanical [19, 20], antibacterial [21] and antimicrobial [22] properties of such fabrics.

**Task statement.** The most popular and effective method to protect the electronic equipment and human beings from the EM waves is the shielding.

The process of managing the penetration of the EM fields into the space by blocking them with the involvement of the conductive materials is known as the “electromagnetic shielding”. The environment used protecting against the electromagnetic waves is named as the "shields". Usually as materials for the shields uses of the stiff metallic materials those have good electromagnetic properties. Metallic coated plastics are also used. However, the disadvantage of these kinds of materials is their weight, flexibility and high cost. These disadvantages have gained attention towards the use of textiles for the electromagnetic shielding application. These textile-shields with conductive yarns have the following advantages over the traditional shields like durability, flexibility, low cost, light weight etc.

The purpose of this investigation was to research innovative and simple approaches toward developing an effective hybrid knitted fabric for EM shielding application.

**Materials.** To study the effect of interlooping on EMR shielding properties of hybrid knitted materials, knitted fabrics were produced on 8-gauge flat knitting machines. Stainless steel (SS) wire with 0.12-mm diameter was used as a conductive element. Cotton yarn 30×2 tex with 0.31 mm diameter were used as ground. The control samples of Rib 1+1 are knitted from only from cotton yarn. Structural parameters of hybrid knitted fabrics are shown in Table 2.

Table 2

Structural parameters of hybrid knitted fabrics

Interlooping for SS wire	SS wire content, %	Loop length, mm		Thickness, mm	GSM, gram per sq. meter	Stitch density per 100 mm	
		SS wire	Cotton			wales (Nw)	courses (Nc)
Control sample							
Rib 1+1	0	–	7.40±0.08	2.58±0.03	420±5	40±1	60±1
Set of EMR shielding hybrid knitted fabrics							
Rib 1+1	29	7.58±0.05	7.32±0.06	2.56±0.02	675±6	30±1	38±1
Half Milano rib	29	7.56±0.08	7.30±0.08	2.62±0.03	680±6	30±1	30±1
Half-cardigan	29	7.60±0.05	7.40±0.05	3.14±0.04	665±5	30±1	28±1
Cardigan	29	7.64±0.05	7.38±0.06	3.72±0.04	580±5	30±1	30±1

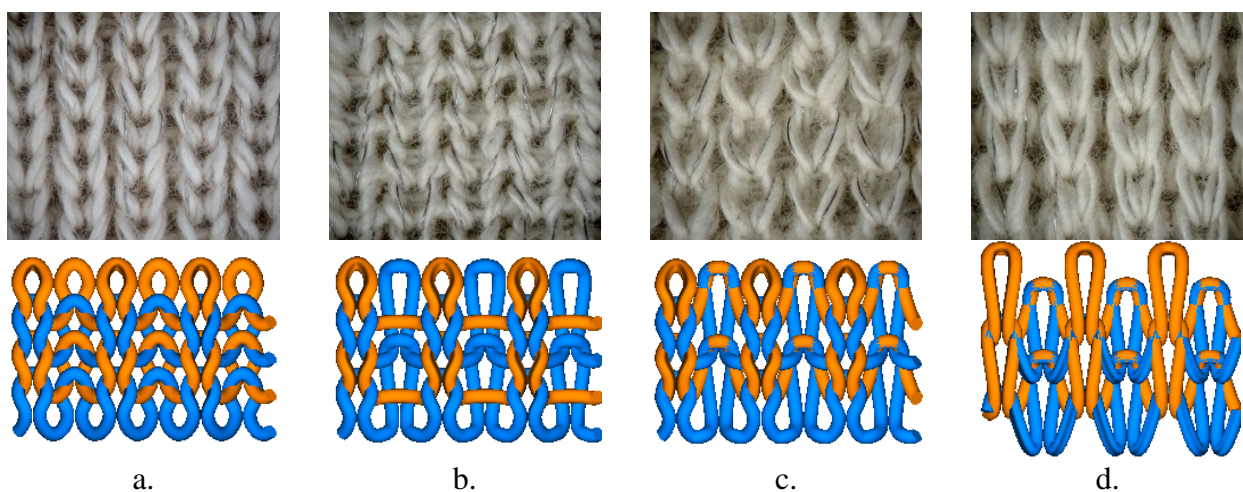


Figure 2. Photos and schematic structures of hybrid knitted fabrics:  
 a – Rib 1+1; b – Half Milano rib; c – Half cardigan; d – Cardigan

To produce the hybrid knitted fabrics, the stainless steel wire is fed to the knitting area together with the cotton yarn. In order to provide the different positions of the conductive element in the

structure, four types of interlooping are chosen: Rib 1+1, Half Milano rib, Half cardigan and Cardigan. Photos of hybrid knitted fabric are presented in Figure 2. It could be seen that the SS wire is introduced into the knitted structure in the form of loops (Rib 1+1 and Half Milano rib) and tucks (Half-cardigan and Cardigan). The analyses of structural parameters and their connection of hybrid knitted fabrics were presented in the previous study [23].

**Methodology.** The EMR shielding effectiveness (SE) of the textile samples was measured using a far-field EM plane wave by the method in ASTM D 4935-18 [24] for planar materials. The measurement method is valid over a frequency range of 30 MHz to 1.5 GHz. As these limits are not exact, the measurements were performed over a frequency range of 30 MHz to 3 GHz, which corresponds to the wavelength of 10 m to 0.1 m.

The setup consisted of a sample holder with its input and output connected to a network analyzer. An SE test fixture (model EM-2107A, Electro-Metrics, Inc.,) was used to hold the sample. The design and dimensions of the sample holder followed the standard mentioned above (see Figure 2). The measured sample is in the shape of a circle of diameter 13.31 cm. To generate and receive the EM signals, we used a Rohde & Schwarz ZN3 network analyzer. We used the insertion-loss method to determine the SE of the fabric. The textile samples were air-conditioned before testing ( $T = 22 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3$ ,  $\text{RH} = 50\% \pm 10\%$ ), and the measurements were performed ( $n = 3$ ) at three different sample locations chosen randomly to facilitate subsequent statistical analysis.

Scattering parameters  $S_{11}$  (or  $S_{22}$ ) and  $S_{21}$  (or  $S_{12}$ ) which are obtained through the measurement of a two port network analyzer, gives the reflection ( $R$ ), transmission ( $T$ ) and absorption ( $A$ ) components, where  $R = |S_{11}|^2$  and  $T = |S_{21}|^2$  and  $A = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2$ . Since, in the case of  $SE_T > 10 \text{ dB}$ , multiple shielding effectiveness due to reflection can be considered negligible. Thus effective reflection could be shown as  $(1-R)$ . Since, after reflection, the remaining waves can be described as  $(1-R)$  which will be subjected to either absorption into the material or transmission through the material, thus the effective Absorption should be equal to  $(1-T-R)/(1-R)$ . Further to describe the value of  $SE_R$  and  $SE_A$  more convenient in decibel (dB), the values can be described in the form [25]:

$$SE_R = -10 \log (1-R) \quad (7)$$

and

$$SE_A = -10 \log (T/1 - R). \quad (8)$$

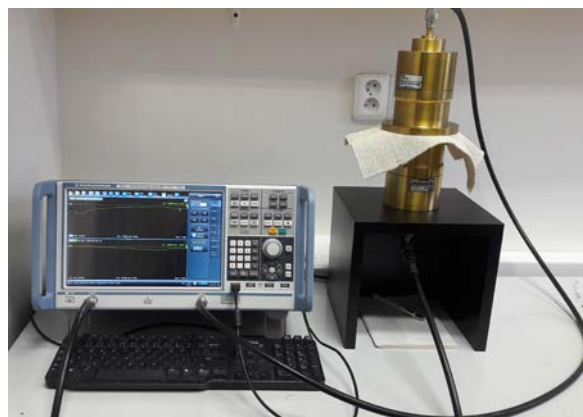
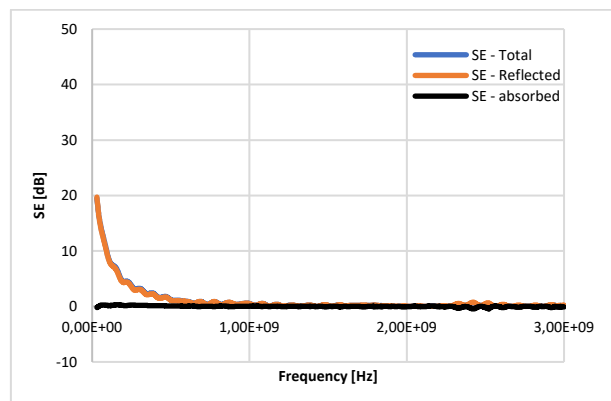


Figure 3. Installation setup for measuring the EMR shielding efficiency of textile

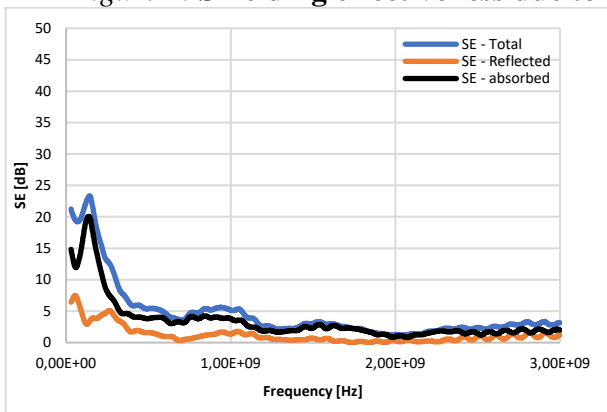
**Results.** The results of the study of SE of knitting textiles in the frequency range from 0 GHz to 3 GHz are presented in the graphs of Fig. 4 (for control sample), Fig. 5 (for set of hybrid knitting textiles) on example of the main mechanisms of EMR attenuation: absorption and reflection.

It is seen from Fig. 4 that sample made from conventional cotton yarn has almost no SE, especially at high frequencies (frequencies higher than 150 MHz). This result was expected, because the major part of the traditional textile fibers belongs to electric insulators. This is due to the fact that each electron is attached to the atomic nucleus or is separated by atomic bonds. In previous studies [26], it was established that the electrical conductivity of traditional fibers is not neutral and depends on the content of additives or moisture content.

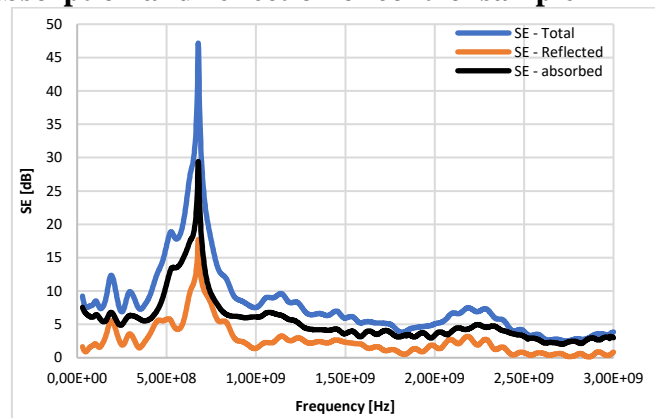


Rib 1+1

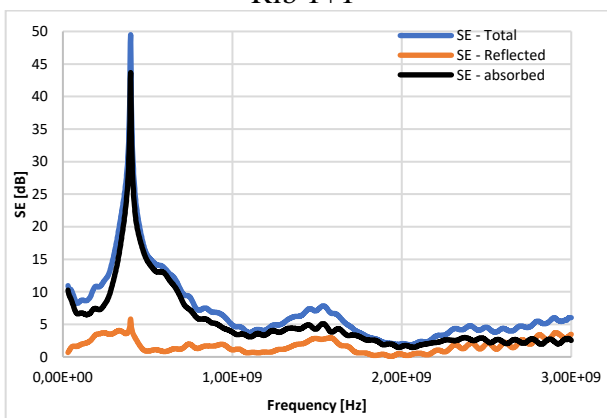
Figure 4. Shielding effectiveness due to absorption and reflection of control sample



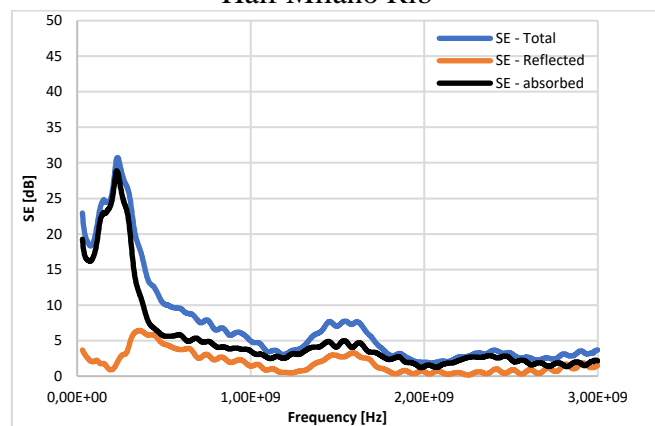
Rib 1+1



Half Milano Rib



Half cardigan



Cardigan

Figure 5. Shielding effectiveness due to absorption and reflection of set of hybrid knitted fabrics

The effects of stainless steel wire and weave type on SE values of the hybrid knitting samples were investigated and the results are demonstrated in Fig. 5. For all knitted structures was found a general trend that shielding effectiveness has peak values of 23 ÷ 50 dB in the interval from 200 to 900 MHz. This indicates the "excellent" level of shielding from EMR of the developed knitted fabrics in the indicated frequency range. All hybrid knitted fabrics are characterized by the predominance of the absorption mechanism of electromagnetic waves. This is explained by the fact that stainless steel has a high absorption and low reflection of electromagnetic energy due to its low electrical conductivity compared to other metals (Table 3).

Table 3

Electrical conductivity of metals

Metals	Electrical conductivity (S/cm)
Silver	$6.8 \cdot 10^5$
Copper	$6.4 \cdot 10^5$
Aluminium	$4.0 \cdot 10^5$
Nickel	$9.7 \cdot 10^4$
Stainless steel	$1.8 \cdot 10^4$

The absorption and reflection percentages of the hybrid knitted fabrics were illustrated in Fig. 6. The analysis shows that the hybrid knitted fabrics containing stainless steel wire have low reflection percentage and high absorption percentages in the entire range of frequencies. According this the hybrid knitted fabrics can be used as electromagnetic wave absorbents.

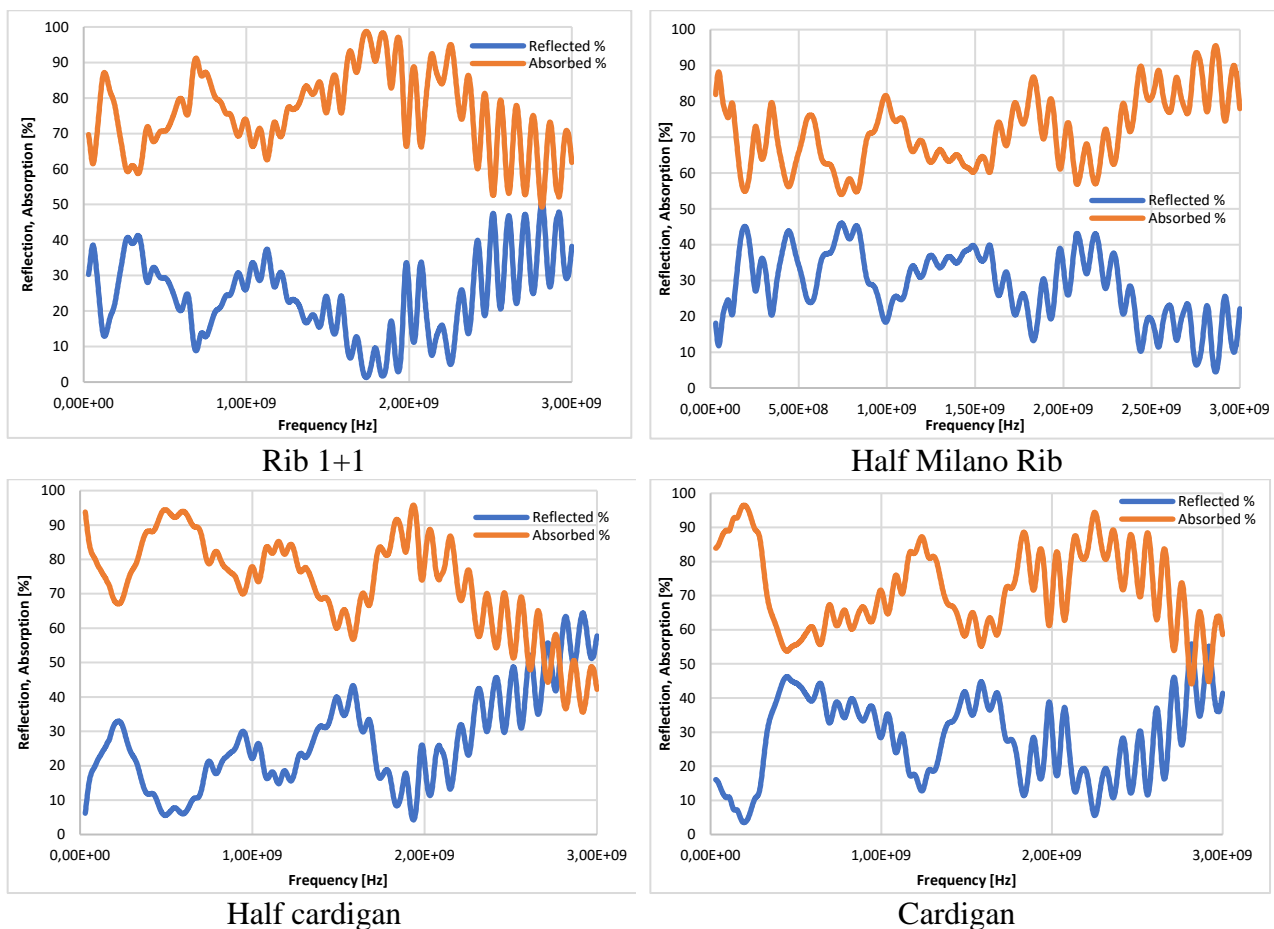


Figure 6. Absorption and reflection percentages of the hybrid knitted fabrics

**Conclusion:** The proposed hybrid fabrics have the ability to EMR shielding, namely the shielding efficiency at low frequencies (up to 0.9 GHz) is higher than 50 dB.

Hybrid knitted fabrics containing stainless steel wire (the stainless-steel wire is fed to the knitting area together with the cotton yarn) have low reflection percentage and high absorption percentages in the entire range of frequencies and can be used as electromagnetic wave absorbents.

From the results it is evident that the main factor that determines the shielding ability is the positioning of the metal components in the hybrid knitted structure. The knitted structure half Milano rib demonstrates the highest SE due to the arrangement of the structural elements.

**Acknowledgment.** The research was carrying out under the scholarship of International Visegrad Fund (Project #52210227).

### References

### Література

1. Celozzi, S., Araneo, R., Lovat, G. (2008). Electromagnetic Shielding. IEEE Press, Wiley-Interscience, A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION.
1. Celozzi S., Araneo R., Lovat G. Electromagnetic Shielding. IEEE Press, 2008. Wiley-Interscience, A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION.
2. Tavares, H., Matos, N., Pinto, M., Gutiérrez Gutiérrez, G. (2018). Measurement and Simulation of the Shielding Effectiveness of Materials Using the ASTM D4935 Flanged Coaxial Transmission Line. *Proceedings of the 1st Iberic Conference on Theoretical and Experimental Mechanics and Materials / 11th National Congress on Experimental Mechanics*. Porto/Portugal 4-7 November 2018. Ed. J. F. Silva Gomes. INEGI/FEUP (2018). Pp. 183–192.
2. Tavares H., Matos N., Pinto M., Gutiérrez Gutiérrez G. Measurement and Simulation of the Shielding Effectiveness of Materials Using the ASTM D4935 Flanged Coaxial Transmission Line. *Proceedings of the 1st Iberic Conference on Theoretical and Experimental Mechanics and Materials / 11th National Congress on Experimental Mechanics*. Porto/Portugal 4–7 November 2018. Ed. J. F. Silva Gomes. INEGI/FEUP (2018). Pp. 183–192.
3. Svacina, J. (2001). Electromagnetic compatibility: principles and notes. No. 1. Brno: University of Technology. 156 p.
3. Svacina J. Electromagnetic compatibility: principles and notes. No. 1. Brno: University of Technology, 2001. 156 p.
4. Tezel, S., Kavusturan, Y., Vandenbosch, G.A. and Volski, V. (2013). Comparison of electromagnetic shielding effectiveness of conductive single jersey fabrics with coaxial transmission line and free space measurement techniques. *Textile Research Journal*, Vol. 84, No. 5, P. 461–476.
4. Tezel S., Kavusturan Y., Vandenbosch G. A., Volski V. Comparison of electromagnetic shielding effectiveness of conductive single jersey fabrics with coaxial transmission line and free space measurement techniques. *Textile Research Journal*. 2013. Vol. 84, No. 5. P. 461–476.
5. Jiyong, H., Guohao, L., Junhui, S., Xudong, Y., Xin, D. (2017). Improving the electromagnetic shielding of nickel/polyaniline coated polytrimethylene-terephthalate knitted fabric by optimizing the electroless plating condition. *Textile Research Journal*, Vol. 87, No. 8, P. 902–912.
5. Jiyong H., Guohao L., Junhui S., Xudong Y., Xin D. Improving the electromagnetic shielding of nickel/polyaniline coated polytrimethylene-terephthalate knitted fabric by optimizing the electroless plating condition. *Textile Research Journal*. 2017. Vol. 87, No. 8. P. 902–912.
6. Chatterjee, A., Kumar, M. N., Maity, S. (2017). Influence of graphene oxide concentration and dipping cycles on electrical conductivity of coated cotton textiles. *The Journal of The Textile Institute*, Vol. 108, No 11, P. 1910–1916.
6. Chatterjee A., Kumar M. N., Maity S. Influence of graphene oxide concentration and dipping cycles on electrical conductivity of coated cotton textiles. *The Journal of The Textile Institute*. 2017. Vol. 108, No 11. P. 1910–1916.
7. Kovar, S. (2017). Immunity of camera systems against electromagnetic interference. Treatise on doctoral thesis. Faculty of applied informatics in Zlin. Supervisor doc. Mgr. Milan Adamek, Ph.D.
7. Kovar S. Immunity of camera systems against electromagnetic interference. Treatise on doctoral thesis. Faculty of applied informatics in Zlin. Supervisor doc. Mgr. Milan Adamek, Ph.D. Zlin, 2017.

8. Pospislik, M., Riha, T., Adamek, M., Silva, R. M. S. (2015). *W.S.E.A.S.T.C.S.*
9. Avinash, Mritunjay Rai, Ravindra Kumar Yadav (2014). Characterization of Shielding Effectiveness of General Metallized Structure. *I.J. Wireless and Microwave Technologies*, No. 5, P. 32–45.
10. Maity, S., Singha, K., Singha, M. (2013). Textiles in Electromagnetic Radiation Protection. *Journal of Safety Engineering*, Vol. 2, No. 2, P. 11–19.
11. Cheng, K. B., Lee, K. C., Ueng, T. H., Mou, K. J. (2002). Electrical and impact properties of the hybrid knitted inlaid fabric reinforced polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 33, No. 9, P. 1219–1226.
12. Committee for Conformity Assessment of Accreditation and Certification on Functional and Technical Textiles. Specified requirements of electromagnetic shielding textiles. Taipei/Taiwan, Standard No. FTTS-FA-003, 2005.
13. Ciesielska-Wróbel, I., Grabowska, K. (2012). Estimation of the EMR Shielding Effectiveness of Knit Structures. *Fibres Text. East. Eur.*, Vol. 20, No. 2(91). P. 53–60.
14. Çeken, F., Kayacan, O., Özkurt, A., Uğurlu, S. S. (2012). The electromagnetic shielding properties of some conductive knitted fabrics produced on single or double needle bed of a flat knitting machine. *J. Text. Inst.*, Vol. 103, No. 9, P. 968–979.
15. Maity, S., Singha, K., Singha, M. (2013). Textiles in Electromagnetic Radiation Protection. *J. Saf. Eng.*, No. 2 (2). P. 11–19.
16. Malik, P., Sharma, A., Gianender, Sharma, J. P. (2018). Textiles for protection against Electromagnetic Radiations: A review. *Int J Eng Res Appl.*, Vol. 8, No. 6 (III), P. 32–37.
17. Palanisamy, S., Tunakova, V., Militky, J. (2018). Fiber-based structures for electromagnetic shielding – comparison of different materials and textile structures. *Text Res J*, Vol. 88, No. 17, P. 1992–2012.
18. Yu, Z. C., He, H. L., Lin, J. H. et al. (2015). Functional Properties and Electromagnetic Shielding Behaviour of Elastic Warp-knitted Fabrics. *Fibres Text. East. Eur.*, Vol. 23, No. 5 (113), P. 78–83.
19. Sancak, E., Akalin, M., Usta, I. et al. (2018). The Effects of Fabric and Conductive Wire Properties on Electromagnetic Shielding Effectiveness and Surface Resistivity of Interlock Knitted Fabrics. *Fibers Polym.*, Vol. 19, No. 4, P. 843–853.
20. Ilkan, O. (2020). Investigation of the technical and physical properties of metal composite 1x1 rib knitted fabrics. *Industria Textila*, Vol. 71, No. 1, P. 11–19.
8. Pospislik M., Riha T., Adamek M., Silva R. M. S. *W.S.E.A.S.T.C.S.* 2015. 14.
9. Avinash, Mritunjay Rai, Ravindra Kumar Yadav. Characterization of Shielding Effectiveness of General Metallized Structure. *I.J. Wireless and Microwave Technologies*. 2014. No. 5. P. 32–45.
10. Maity S., Singha K., Singha M. Textiles in Electromagnetic Radiation Protection. *Journal of Safety Engineering*. 2013. Vol. 2, No. 2. P. 11–19.
11. Cheng K. B., Lee K. C., Ueng T. H., Mou K. J. Electrical and impact properties of the hybrid knitted inlaid fabric reinforced polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2002. Vol. 33, No. 9. P. 1219–1226.
12. Committee for Conformity Assessment of Accreditation and Certification on Functional and Technical Textiles. Specified requirements of electromagnetic shielding textiles. Taipei/Taiwan, Standard No. FTTS-FA-003, 2005.
13. Ciesielska-Wróbel I., Grabowska K. Estimation of the EMR Shielding Effectiveness of Knit Structures. *Fibres Text. East. Eur.* 2012. Vol. 20, No. 2(91). P. 53–60.
14. Çeken F., Kayacan O., Özkurt A., Uğurlu S. S. The electromagnetic shielding properties of some conductive knitted fabrics produced on single or double needle bed of a flat knitting machine. *J. Text. Inst.* 2012. Vol. 103, No. 9. P. 968–979.
15. Maity S., Singha K., Singha M. Textiles in Electromagnetic Radiation Protection. *J. Saf. Eng.* 2013. No. 2(2). P. 11–19.
16. Malik P., Sharma A., Gianender, Sharma J. P. Textiles for protection against Electromagnetic Radiations: A review. *Int J Eng Res Appl.* 2018. No. 8,6(III). P. 32–37.
17. Palanisamy S., Tunakova V., Militky J. Fiber-based structures for electromagnetic shielding – comparison of different materials and textile structures. *Text Res J*. 2018. Vol. 88, No. 17. P. 1992–2012.
18. Yu Z. C., He H. L., Lin J. H. et al. Functional Properties and Electromagnetic Shielding Behaviour of Elastic Warp-knitted Fabrics. *Fibres Text. East. Eur.* 2015. No. 23,5 (113). P. 78–83.
19. Sancak E., Akalin M., Usta I. et al. The Effects of Fabric and Conductive Wire Properties on Electromagnetic Shielding Effectiveness and Surface Resistivity of Interlock Knitted Fabrics. *Fibers Polym.* 2018. Vol. 19, No. 4. P. 843–853.
20. Ilkan O. Investigation of the technical and physical properties of metal composite 1x1 rib knitted fabrics. *Industria Textila*. 2020. Vol. 71, No. 1. P. 11–19.

21. Yu, Z. C., Zhang, J. F., Lou, C. W. et al. (2015). Determination of electro-magnetic shielding and antibacterial properties of multifunctional warp-knitted fabrics. *J Text Inst.*, Vol. 106, No. 11, P. 1203–1211.
22. Özkan, I. (2019). Investigation on antimicrobial activity and electromagnetic shielding effectiveness of metal composite single jersey fabrics. *J Eng Fibers Fabr*, No. 14.
23. Tunakova, V., Tunak, M., Bajzik, V. et al. (2020). Hybrid knitted fabric for electromagnetic radiation shielding. *J Eng Fibers Fabr.*, No. 15.
24. ASTM 4935-18. Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials. ASTM International, 2018.
25. Gupta, Varshney, S., Goyal, A. et al. (2015). Enhanced electromagnetic shielding behaviour of multilayer graphene anchored luminescent TiO<sub>2</sub> in PPY matrix. *Materials Letters*, Vol. 158, P. 1657.
26. Hersh, S. P., Montgomery, D. J. (1952). Electrical resistance measurements on fibers and fiber assemblies. *Text Res J*, Vol. 22, P. 805–818.
21. Yu Z. C., Zhang J. F., Lou C. W. et al. Determination of electro-magnetic shielding and antibacterial properties of multifunctional warp-knitted fabrics. *J Text Inst.* 2015. Vol. 106, No. 11. P. 1203–1211.
22. Özkan I. Investigation on antimicrobial activity and electromagnetic shielding effectiveness of metal composite single jersey fabrics. *J Eng Fibers Fabr.* 2019. No. 14.
23. Tunakova V., Tunak M., Bajzik V. et al. Hybrid knitted fabric for electromagnetic radiation shielding. *J Eng Fibers Fabr.* 2020. No. 15.
24. ASTM 4935-18. Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials. ASTM International, 2018.
25. Gupta, Varshney S., Goyal A. et al. Enhanced electromagnetic shielding behaviour of multilayer graphene anchored luminescent TiO<sub>2</sub> in PPY matrix. *Materials Letters*. Vol. 158. P. 1657.
26. Hersh S. P., Montgomery D. J. Electrical resistance measurements on fibers and fiber assemblies. *Text Res J.* 1952. Vol. 22. P. 805–818.

**ARABULI ARSENI**

Candidate of Technical Science, Associate Professor  
Department of Fashion and Clothing,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-2583-4998>  
Scopus Author ID: 23093245500  
ResearcherID: IRQ-7553-2023  
E-mail: [arabuli.a@knutd.edu.ua](mailto:arabuli.a@knutd.edu.ua)

**BAJZIK VLADIMIR**

Department of Textile Evaluation,  
Technical University of Liberec, Czech Republic  
<https://orcid.org/0000-0002-0390-0755>  
Scopus Author ID: 6602491651  
ResearcherID: CCZ-5895-2022  
E-mail: [vladimir.bajzik@tul.cz](mailto:vladimir.bajzik@tul.cz)

**KYZYMCHUK OLENA**

Doctor of Technical Science, Professor  
Chair of Development and Assembly of Textile Products,  
Technische Universität Dresden, Germany  
<https://orcid.org/0000-0002-8874-8931>  
Scopus Author ID: 36140680600  
ResearcherID: D-5159-2017  
E-mail: [olena.kyzymchuk@mailbox.tu-dresden.de](mailto:olena.kyzymchuk@mailbox.tu-dresden.de)

**АРАБУЛІ А.<sup>1</sup>, БАЙЗІК В.<sup>2</sup>, КИЗИМЧУК О.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

<sup>2</sup>Технічний університет м. Ліберець, Чеська Республіка

<sup>3</sup>Технічний університет м. Дрезден, Німеччина

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЕКРАНІВАННЯ ГІБРИДНИХ  
ТРИКОТАЖНИХ ПОЛОТЕН ЗІ СТАЛЕВИМ ДРОТОМ**

**Мета.** Метою даного дослідження було дослідити загальнозживані та інноваційні підходи до розробки ефективного гібридного трикотажного полотна для екранування електромагнітного випромінювання.

**Методика.** Експериментальні дослідження базуються на основних положеннях текстильного матеріалознавства. У роботі використані основи теорії в'язання, методи аналізу та узагальнення отриманих результатів. Ефективність електромагнітного екранування зразків була експериментально виміряна з використанням плоскої електромагнітної хвилі за методом ASTM D 4935-18 для плоских матеріалів. В роботі наведена ефективність екранування трикотажних полотен в діапазоні частот від 0 ГГц до 3 ГГц з точки зору основних механізмів ослаблення електромагнітного випромінювання: поглинання та відбиття.

**Результати.** У роботі проведено комплексну оцінку характеристик електромагнітного екранування гібридних трикотажних полотен. Провідні гібридні трикотажні полотна були виготовлені з використанням бавовняної пряжі та дроту з нержавіючої сталі 4 типів переплетення (ластик 1+1, напівміланський ластик, напівфанг і фанг) для визначення ефективності екранування електромагнітного випромінювання, а саме, значень поглинання та відбиття в діапазоні частот 0–3 ГГц. Для всіх зразків гібридних трикотажних полотен спостерігається загальна тенденція, яка полягає в тому, що ефективність екранування має пікові значення 23÷50 дБ в інтервалі від 200 до 900 МГц. Це свідчить про «відмінний» рівень екранування від електромагнітного випромінювання розроблених гібридних трикотажних полотен у зазначеному діапазоні частот.

**Наукова новизна.** Основним фактором, який визначає екрануючу здатність, є розташування металевих компоненти у структурі трикотажного полотна. Найкращу ефективність екранування демонструє трикотажне полотно переплетення напівміланський ластик, завдяки розташуванню структурних елементів, а саме петель і стовпчиків.

**Практична значимість.** Гібридні трикотажні полотна, що містять дріт з нержавіючої сталі (дріт з нержавіючої сталі подається в зону в'язання разом з бавовняною пряжею), мають низький відсоток відбиття та високий відсоток поглинання у всьому діапазоні частот і можуть використовуватися як поглиначі електромагнітних хвиль.

**Ключові слова:** трикотаж; нержавіюча сталь; електромагнітне випромінювання; ефективність екранування; поглинання; відбиття; багаторазове відбиття.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.4.8>

УДК 544.2

МАКЄЄВА І. С., СМІРНОВ М. О., ГАЙДАЙ І. О.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ФОТОКАТАЛІЗАТОР НА ОСНОВІ КУПРУМ ОКСИДІВ, ОТРИМАНИХ ЕЛЕКТРОЛІЗОМ

**Мета.** Одержання електрохімічним синтезом високодисперсних оксидних матеріалів на основі купрум оксидів та дослідження їх фотокаталітичних властивостей.

**Методика.** Електроліз здійснювали при різних температурах у термостійких скляних електролізерах. Катод і анод були виготовлені з мідних пластин. В якості електроліту використовували розчин NaCl із вмістом 280 г/л. Отриманий у електролізері продукт відфільтровували, промивали дистильованою водою. Осад висушували (40–75°C) у вакуумній шафі. Отриманий сухий продукт досліджували хімічним та рентгенофлуоресцентним (прилад EDX8000) аналізами. Адсорбційні виміри проводили за допомогою комбінованого приладу ASAP 2400 Micromeritics. Перевірку фотокаталітичних властивостей досліджували на прикладі реакції розкладу барвника метилового оранжевого у водному розчині. Спектрофотометричні виміри проводили на спектрофотометрі SHUMADZU UV-2450.

**Результати.** Електролізом одержано порошкоподібний оксидний матеріал на основі оксидів купруму. Дослідженні параметри впливу на швидкість утворення оксидів. Продукт електросинтезу складається з суміші оксидів купруму (I) та (II), співвідношення фаз залежить від режимів проведення процесу. Продукт має розвинену площину питомої поверхні. Фотокаталітичну деградацію метилоранжу розглянуто як модельну систему функціоналізації одержаного порошкового матеріалу щодо деструкції екологічно небезпечних речовин.

**Наукова новизна** складається в отриманні нового ефективного продукту на основі купрум оксидів. Визначено оптимальні умови синтезу продукту. Показано, що електроліз дозволяє впливати на розмір і форму часток отриманого продукту, робить вільну поверхню оксидів купруму для участі у реакціях.

**Практична значимість.** Продукт на основі купрум оксидів може бути застосовано в якості ефективного фотокаталізатору. За рахунок своєї стабільності та підвищеної фотокаталітичної активності порошкоподібний продукт можливо застосувати в установках водоочищення хімічних, фармацевтичних, нафтохімічних та інших виробництв.

**Ключові слова:** електроліз; оксид купруму; фотокаталізатор; фотокаталітична активність; деградація; водоочищення.

**Вступ.** Протягом багатьох років розроблено багато напівпровідників, які розглядають у якості фотокаталізаторів. Гетерогенний каталіз з використанням ZnO, TiO<sub>2</sub>, WO<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub>, CdS та ZnS у якості фотокаталізаторів у присутності ультрафіолету та видимого світла застосовують для мінералізації токсичних забруднюючих речовин стічних вод [1].

Серед різних напівпровідників TiO<sub>2</sub> є кращим фотокаталізатором завдяки термічній стабільності, нетоксичності й дешевизні [2]. Його широко застосовують для детоксикації води від ряду органічних забруднювачів. Однак він має деякі недоліки: значна ширина забороненої зони, поглинання лише в ультрафіолетовій області спектра, недостатньо високий квантовий вихід реакції, високу швидкість електронно-діркової рекомбінації. Тому актуальною проблемою є необхідність розширити діапазон поглинання або знайти альтернативу TiO<sub>2</sub>.

Наприклад, у [3–8] були продемонстровані оксиди купруму для отримання протимікробних та фотокаталітичних властивостей. Такі оксиди можливо застосувати для зниження забруднення довкілля, а саме для очищення стічних вод. Також оксиди купруму інтенсивно досліджуються для перетворення сонячної енергії в електричну. Теоретично ефективність цього процесу складає біля 10%.

**Постановка завдання.** Оксиди купруму являють собою напівпровідники р-типу з вузькою забороненою зоною (1,7–2,2 eV), є широко розповсюдженими та відносно дешевими.

Такі оксиди можуть поглинати значну частину сонячного спектру [9]. Положення зони провідності та валентної зони теоретично підходять для полегшення реакції відновлення CO<sub>2</sub> та реакції розщеплення води.

Методи синтезу та умови формування матеріалу суттєво впливають на морфологію, фазовий склад та каталітичні властивості оксидних композиційних матеріалів. Електрохімічний синтез дозволяє одержати високодисперсні оксидні системи. Також, електроліз дозволяє синтезувати частки різного розміру і тому можливо управляти шириною забороненої зони та створювати фотокаталізатори з чутливістю до різних довжин хвиль світла.

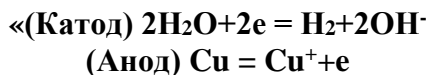
**Метою роботи** було одержання електрохімічним методом високодисперсних оксидних матеріалів на основі оксидів купруму та дослідження їх фотокаталітичних властивостей.

**Результати дослідження.** Електроліз здійснювали при різних температурах у термостійких скляних електролізерах місткістю 250–500 мл. Катод і анод були виготовлені з мідних пластин, мали однаковий розмір та були прикріплені до кришки електролізера з оргскла. Для термостатування електроліту електролізери розміщували у термостаті. Як електроліт використовували розчин NaCl із вмістом 280 г/л. Склавши схему, зважували електроди, заливали електроліт в електролізери і вмикали струм. Сила струму визначалась величиною густини струму, та площею зануреної частини електродів і підтримувалась постійною. Тривалість електролізу визначалась кількістю оксиду міді, яку необхідно отримати. Отриманий у електролізері продукт відфільтровували, промивали дистильованою водою. Осад висушували при слабкому нагріванні під вакуумом (40–75°C) у вакуумній шафі.

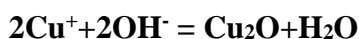
Отриманий сухий продукт аналізували на вміст оксиду купруму, діоксиду купруму та металеві міді за методикою [10]. Зразки піддавались рентгенівському випромінюванню при рентгенофлуоресцентному аналізі (РФА) за допомогою приладу EDX8000. Вимір та розрахунок питомої площі поверхні зразків проводили в інтервалі рівноважних відносних тисків парів азоту  $P/P_0 = 0,05...0,33$  за ізотермою адсорбції. При розрахунках величина молекулярної посадкової площини азоту у заповненому моношарі приймалась рівною 0,162 нм<sup>2</sup>. Похибка виміру величини  $S_{\text{пит}}$  складала  $\pm 2,8$  від. %.

Дослідження фотокаталітичних властивостей проводили на прикладі реакції фотокаталітичного розкладу барвника метилового оранжевого у водному розчині. У якості джерела ультрафіолетового опромінювання використовували ртутно-кварцеву лампу (ДРТ-100). За зміною концентрації барвника сліdkували за допомогою спектрофотометру по зміні інтенсивності піка поглинання барвника. Спектрофотометричні виміри проводили на спектрофотометрі SHUMADZU UV-2450 з приставкою ISR-240A.

На катоді при електролізі проходить реакція утворення водню, на аноді відбувається розчинення міді:

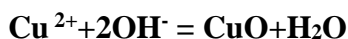


Іони купруму (I) накопичуються поблизу катоду та реагують з іонами OH<sup>-</sup>.

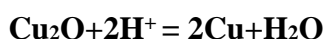


Утворений продукт випадає в осад у вигляді дисперсного порошку» [11].

На аноді, також можливе утворення іонів купруму (II), яке відбувається одночасно з утворенням іонів купруму (I). В такому випадку додатково в осад випадає нерозчинний діоксиду купруму:



Поблизу катоду оксид купруму (I) може відновлюватись гідрогеном. За рахунок цього продукт вміщує металеву мідь:



Металева мідь може додатково з'являтися при механічному руйнуванні аноду. При високій густині струму спостерігається нерівномірне розчинення електроду.

Склад та концентрація електроліту впливає на процес електролізу. При використанні розбавленого розчину NaCl відбувається забруднення продукту та зменшується його вихід за струмом.

Таким чином, властивості та вихід за струмом отриманого продукту залежать від умов електролізу: складу та концентрації електроліту, температури, густини струму. Перемішування електроліту сприятливо діє на процес утворення продукту. З цією метою при електролізі через визначені проміжки часу проводили зміну полярності електродів.

У роботі проводили дослідження встановлення деяких закономірностей електрохімічного окиснення міді. На рис. 1 наведено залежність швидкості окиснення мідних електродів від густини струму при різних температурах. Графік показує, що підвищення густини струму збільшує швидкість процесу, підвищення температури приводить до зменшення швидкості електролізу.

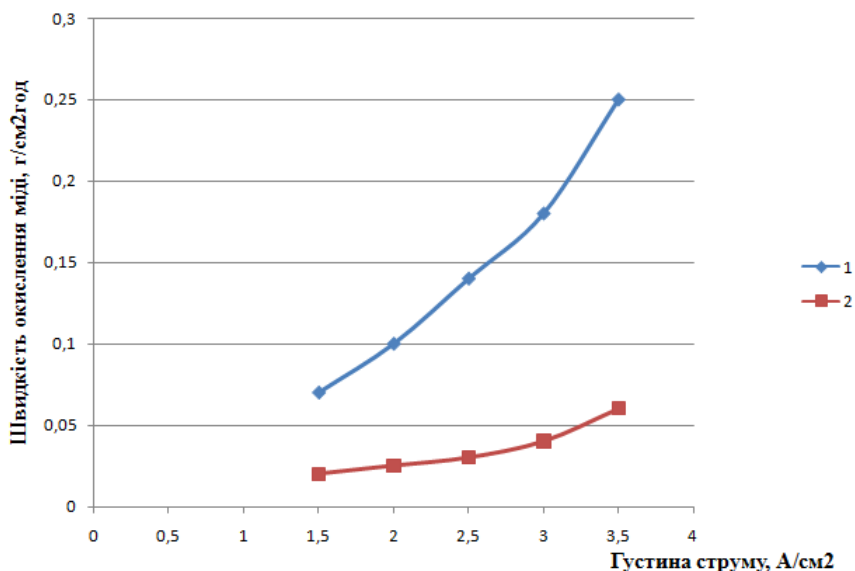


Рис. 1. Залежність швидкості окиснення міді при електролізі від густини струму при різних температурах, °C: 1) 20; 2) 70.

Електролітичним синтезом при різних температурах електроліту отримано продукт, у склад якого входять оксиди купруму (I), (II) та металева мідь. В таблиці 1 представлені результати хімічного аналізу продукту.

Таблиця 1

**Результати хімічного аналізу продукту електролізу**

№ зразка	Температура, °C	Вихід за струмом продукту, %	Складові продукту, %		
			CuO	Cu <sub>2</sub> O	Cu
1	20	46,15	31,95	32,95	35,10
2	70	96,25	43,85	27,30	28,85

Виходячи з хімічного аналізу продукту (табл. 1) при електролізі проходять паралельні реакції утворення Cu<sub>2</sub>O та CuO. «При електросинтезі утворюється Cu<sub>2</sub>O з дефектною структурою решітки, яка характеризується надлишком іонів кисню. У цьому випадку частину місць у решітці, вільних від Cu<sup>+</sup>, компенсують іони Cu<sup>2+</sup>. Дифузія іонів Cu<sup>+</sup> до зовнішньої поверхні оксиду та обмін електронами між Cu<sup>+</sup> та Cu<sup>2+</sup> створюють умови для утворення суміші

купрум оксидів (I) та (II), що підтверджується результатами хімічного аналізу. Присутність металевої міді пояснюється тим, що при електролізі використовують мідні електроди» [11].

Співвідношення оксидів змінюється в залежності від умов електролізу. При збільшенні густини переміщення потенціалу у позитивну область сприяє протіканню нових електродних процесів при електролізі. Завдяки таким процесам утворюються іони більш високої валентності, підвищується рухомість поверхневих атомів металу. Всі ці явища знижують дифузійне затримання та полегшують обмін іонів у решітці, сприяють переходу іонів у розчин.

Згідно результатів РФА продукти електролізу міді у розчині натрію хлориду після сушки складаються з суміші оксидів купруму (I) та (II) з різним співвідношенням фаз. Встановлено, що з збільшенням температури електролізу кількість  $\text{CuO}$  у продукті збільшується (рис. 2).

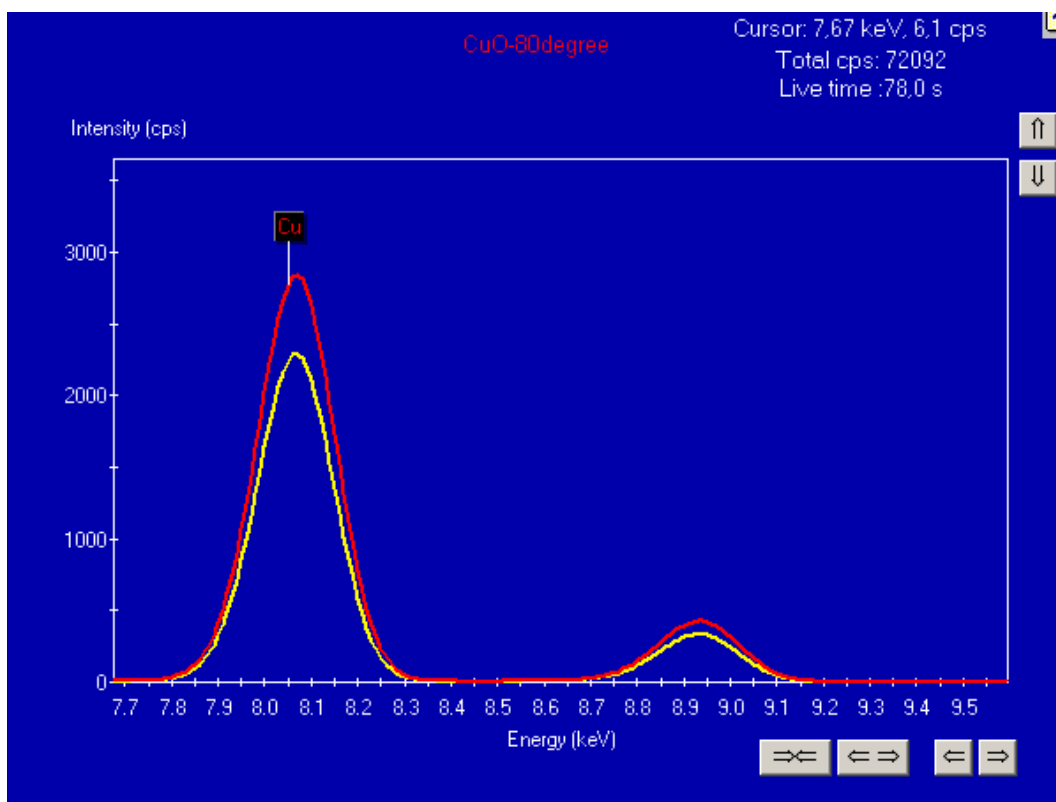


Рис. 2. Результати РФА (спектр продукту, отриманого при  $70^{\circ}\text{C}$  показано червоним кольором; спектр продукту отриманого при  $20^{\circ}\text{C}$  – жовтим)

Зразок, який одержано при  $70^{\circ}\text{C}$  має більше купруму в оксиді, так як інтенсивність піку вища. Це співпадає з даними хімічного аналізу.

У зразках в основному спостерігається наявність купруму. Є сліди кальцію, хлору та феруму (рис. 3).

Досліджували вплив зміни густини струму при електролізі на фізико-хімічні властивості продукту. Отримані дані показують, що продукт електролізу має розвинену площину питомої поверхні. В таблиці 2 наведено залежність питомої площі поверхні від складу зразків, синтезованих при різних густинах струму.

Питома площа поверхні залежить від складу утворених продуктів (табл. 2). Склад продукту визначається умовами синтезу. При підвищенні густини струму збільшується питома площа поверхні оксидів купруму. Структура продуктів починає мати більшу дефектність, більш високі значення поверхневої енергії і підвищення густини струму створює більш нерівноважні умови проходження процесу.

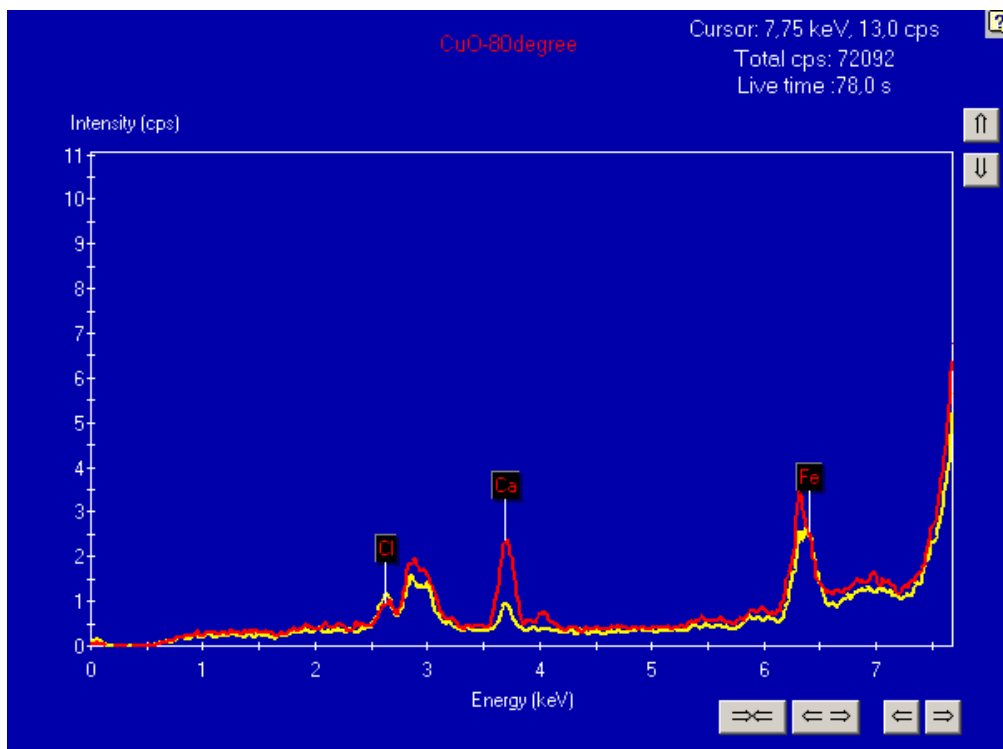


Рис. 3. Результати РФА (спектр продукту, отриманого при 70<sup>0</sup>С показано червоним кольором; спектр продукту отриманого при 20<sup>0</sup>С – жовтим)

Таблиця 2

**Фізико-хімічні властивості продуктів в залежності від умов електролізу**

Температура, °С	Густина струму, А/см <sup>2</sup>	Питома площа поверхні продукту, м <sup>2</sup> /г	Основні складові продукту, %	
			CuO	Cu <sub>2</sub> O
20	1,0	3	30,05	28,10
	1,5	8	31,10	33,25
	2,0	20	31,95	32,95
	2,5	28	31,95	32,95
70	1,0	11	34,0	20,21
	1,5	18	39,10	25,10
	2,0	24	43,85	27,30
	2,5	30	54,60	36,44

Для використання купрум оксидів у процесах гетерогенного фотокаталізу необхідним є отримання його у вигляді нанорозмірних частинок. Такі частинки приводять до збільшення фотокаталітичної активності продукту. Нанорозмірні частинки дають можливість для імовірності виходу зарядів на поверхню каталізатора. Глибина проникнення ультрафіолетового світла в частинки оксидів обмежена (~100 нм). Таким чином, активною є тільки зовнішня поверхня продукту [12]. Сприяння для поглинання світла у всьому об'ємі продукту допомагає зменшення розмірів частинок до нанорозмірних значень.

Отримані спектри поглинання продуктів електролізу, які вміщують частки оксидів купруму розрізняються положенням піку максимуму поглинання. Різне положення максимуму поглинання вказує на різний розмір часток. «Частинки продукту мають різну форму: одні з них округлої форми та зібрані у агрегати, інші представляють голки. Розмір округлих часток суттєво менше, ніж голок та складає 300...500 нм. Форма часток визначається

їх складом: частки округлої форми належать оксиду купруму –  $\text{Cu}_2\text{O}$ , а голки діоксиду купруму –  $\text{CuO}$ » [11].

Для оцінки фотокаталітичної активності наночастинок оксидів купруму використовували реакцію фотокаталітичного розкладу барвника метилового оранжевого у водному розчині. Пік на спектрі поглинання барвника – метилового оранжевого спостерігали при довжині хвилі 440 нм при його окисненні у присутності порошку з оксидів купруму та пероксиду водню під дією ультрафіолетового опромінення. Залежність висоти піку (значення оптичної густини) від часу окислення приведено на рис. 4.

Практично повне окислення барвника відбувається через 2 години опромінення. Час повного знебарвлення метилового оранжевого у присутності порошку з оксидів купруму складає 10 годин.

Також проводили експеримент при відсутності порошку оксидів купруму. Було досліджено, що розпад молекул барвника при цьому не відбувається.

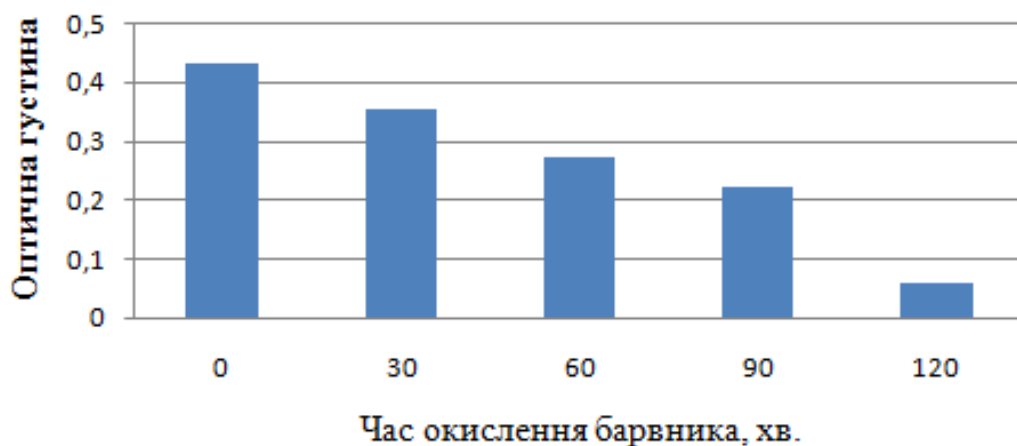


Рис. 4. Значення оптичної густини розчину барвника залежно від часу його окислення у присутності оксидів купруму під дією УФ – опромінення

Таким чином ми спостерігаємо ефект розкладання барвника – метилового оранжевого у присутності отриманого порошку з оксидів купруму, які синтезовані електролізом. Електроліз є економічним та зручним, має простоту у виконанні та можливість регулювати дисперсність одержаних продуктів, змінюючи умови електролізу, час, температуру, густину струму та інші параметри процесу.

**Висновки.** Досліджена можливість синтезу оксидів купруму методом анодного окислення металічної міді. Швидкість електролізу збільшується з збільшенням густини струму та зменшується з підвищенням температури. Продукт електросинтезу складається з суміші оксидів купруму (I) та (II), співвідношення фаз залежить від режимів проведення процесу. Продукт має розвинену площину питомої поверхні. Електроліз дозволяє впливати на розмір і форму часток отриманого продукту, робить вільну поверхню оксидів купруму для участі у реакціях. По результатам фотокаталітичної активності отриманого порошку оксидів купруму продукт можливо застосувати в якості фотокаталізатору щодо деструкції екологічно небезпечних речовин.

## References

1. Kadiyals, U., Kotov, N. A., VanEpps, J. S. (2018). Antibacterial Metal Oxide Nanoparticles: Challenges in Interpreting the Literature. *Curr Pharm Des.*, Vol. 24 (8), P. 896–903. <https://doi.org/10.2174/1381612824666180219130659>.

## Література

1. Kadiyals U., Kotov N. A., VanEpps J. S. Antibacterial Metal Oxide Nanoparticles: Challenges in Interpreting the Literature. *Curr Pharm Des.* 2018. Vol. 24 (8). P. 896–903. <https://doi.org/10.2174/1381612824666180219130659>.

2. Gupta, V. K., Jain, R., Nayak, A., Agarwal, S., Shrivastava, M. (2011). Removal of the hazardous dye – Tartrazine by photodegradation on titanium dioxide surface. *Mater Sci Eng C.*, 31(5), P. 1062–1067. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2011.03.006>.
3. Udaabhanu, P. C., Nethravathi, M. A., Pavan Kumar, D., Suresh, D., Lingaraju, K., Rajanaiks, H., Nagabhushans, H., Sharms, S. C. (2015). Tinospora cordifolia mediated facile green synthesis of cupric oxide nanoparticles and their photocatalytic, antioxidant and antibacterial properties. *Mater Sci Semicond Process*, 33, P. 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2015.01.034>.
4. Djuriscic, A. B., Leung, Y. H., Ng, A. M., Xu, X. Y., Lee, P. K., Degger, N., Wu, R. S. S. (2015). Toxicity of Metal Oxide Nanoparticles: Mechanisms, Characterization, and Avoiding Experimental Artefacts. *Nano. Micro. Small*, 11 (1), P. 26–44. <https://doi.org/10.1002/sml.201303947>.
5. Rangayasami, A., Kannan, K., Subban, M., Radhika, D. (2021). Review of Photocatalytic and Antimicrobial Properties of Metal Oxide Nanoparticles. *Physics and Chemistry of Solid State*, 22(1). P. 5–15. <https://doi.org/10.15330/pcss.22.1.5-15>.
6. Ramskova, T., Croteaub, M. N., Forbesc, V. E., Selck, H. (2015). Biokinetics of different-shaped copper oxide nanoparticles in the freshwater gastropod, *Potamopyrgus antipodarum*. *Aquatic Toxicology*, 163, P. 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.03.020>.
7. Jing, X., Park, J. H., Peters, T. M., Thorne, P. S. (2015). Toxicity of copper oxide nanoparticles in lung epithelial cells exposed at the air–liquid interface compared with in vivo assessment. *Toxicology in Vitro*, 29, P. 502–511. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2014.12.023>.
8. Ananth, A., Dharaneedharan, S., Heo, M.-S., Mok, Y. S. (2015). Copper oxide nanomaterials: Synthesis, characterization and structure-specific anti-bacterial performance. *Chem. Eng. Jour.*, 262, P. 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.09.083>.
9. Huang, L., Peng, F., Yu, H., Wang, H. (2009). Preparation of cuprous oxides with different sizes and their behaviors of adsorption, visible-light driven photocatalysis and photocorrosion. *Solid State Sciences*, 11(1), P. 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2008.04.013>.
10. Mourya, A., Mazumdar, B., Sinha, S. (2019). Determination and quantification of heavy metal ion by electrochemical method. *J. of Environmental Chem. Engineering*, 7(6), P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103459>.
2. Gupta V. K., Jain R., Nayak A., Agarwal S., Shrivastava M. Removal of the hazardous dye – Tartrazine by photodegradation on titanium dioxide surface. *Mater Sci Eng C.* 2011. 31(5). P. 1062–1067. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2011.03.006>.
3. Udaabhanu P. C., Nethravathi M. A., Pavan Kumar D., Suresh D., Lingaraju K., Rajanaiks H., Nagabhushans H., Sharms S. C. Tinospora cordifolia mediated facile green synthesis of cupric oxide nanoparticles and their photocatalytic, antioxidant and antibacterial properties. *Mater Sci Semicond Process*. 2015. 33. P. 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2015.01.034>.
4. Djuriscic A. B., Leung Y. H., Ng A. M., Xu X. Y., Lee P. K., Degger N., Wu R. S. S. Toxicity of Metal Oxide Nanoparticles: Mechanisms, Characterization, and Avoiding Experimental Artefacts. *Nano. Micro. Small*. 2015. Vol. 11, Iss. 1. P. 26–44. <https://doi.org/10.1002/sml.201303947>.
5. Rangayasami A., Kannan K., Subban M., Radhika D. Review of Photocatalytic and Antimicrobial Properties of Metal Oxide Nanoparticles. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2021. 22(1). P. 5–15. <https://doi.org/10.15330/pcss.22.1.5-15>.
6. Ramskova T., Croteaub M. N., Forbesc V. E., Selck H. Biokinetics of different-shaped copper oxide nanoparticles in the freshwater gastro-pod, *Potamopyrgus antipodarum*. *Aquatic Toxicology*. 2015. 163. P. 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.03.020>.
7. Jing X., Park J.H., Peters T.M., Thorne P.S. Toxicity of copper oxide nanoparticles in lung epithelial cells exposed at the air–liquid interface compared with in vivo assessment. *Toxicology in Vitro*. 2015. 29. P. 502–511. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2014.12.023>.
8. Ananth A., Dharaneedharan S., Heo M.-S., Mok Y. S. Copper oxide nanomaterials: Synthesis, characterization and structure-specific anti-bacterial performance. *Chem. Eng. Jour.* 2015. 262. P. 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.09.083>.
9. Huang L., Peng F., Yu H., Wang H. Preparation of cuprous oxides with different sizes and their behaviors of adsorption, visible-light driven photocatalysis and photocorrosion. *Solid State Sciences*. 2009. 11(1). P. 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2008.04.013>.
10. Mourya A., Mazumdar B., Sinha S. Determination and quantification of heavy metal ion by electrochemical method. *J. of Environmental Chem. Engineering*. 2019. 7(6). P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103459>.

11. Khodykin, A. O., Makyeyeva, I. S. (2022). Syntez kuprum oksydів elektrolizom [The synthesis of copper oxides by electrolysis]. *Materialy III Vseukrayins'koyi konferentsiyi zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh "Inovatyka v osviti, nautsi ta biznesi: vyklyky ta mozhlyvosti"*, KNUTD, Vol. I, P. 251–255 [in Ukrainian].
12. Mills, A., Hunte, S. L. (1997). An overview of semiconductor photocatalysis. *J. Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 108 (1), P. 1–35. [https://doi.org/10.1016/s1010-6030\(97\)00118-4](https://doi.org/10.1016/s1010-6030(97)00118-4).
11. Ходикін А. О., Макеева І. С. Синтез купрум оксидів електролізом. *Матеріали III Всеукраїнської конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених "Іноватика в освіті, науці та бізнесі: виклики та можливості"*, КНУТД, 2022. Том I, С. 251–255.
12. Mills A., Hunte S. L. An overview of semiconductor photocatalysis. *J. Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 1997. 108(1). P. 1–35. [https://doi.org/10.1016/s10106030\(97\)00118-4](https://doi.org/10.1016/s10106030(97)00118-4).

**MAKYEYeva IRYNA**

PhD, Associate professor,

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

<https://orcid.org/0000-0001-5672-3097>

Scopus Author ID: 7003994762

Researcher ID: X-2580-2018

E-mail: [makyeyeva.is@knutd.com.ua](mailto:makyeyeva.is@knutd.com.ua)

**SMIRNOV MAXIM**

Master's student

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

E-mail: [fkca.lci16.cmo@gmail.com](mailto:fkca.lci16.cmo@gmail.com)

**GAIDAI IVAN**

Master's student

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

E-mail: [lubzerik@gmail.com](mailto:lubzerik@gmail.com)

**MAKYEYeva I. S., SMIRNOV M. A., GAIDAI I. A**

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

## **THE PHOTOCATALYST BASED ON COPPER OXIDES OBTAINED BY ELECTROLYSIS**

**Purpose.** Production of highly dispersed oxide materials based on copper oxides by electrochemical synthesis and investigation of their photocatalytic properties.

**Methodology.** Electrolysis was carried out at different temperatures in heat-resistant glass electrolyzers. The cathode and anode were made of copper. A NaCl solution with a content of 280 g/l was used as an electrolyte. The obtained dry product was investigated by chemical and X-ray fluorescence analyses. The verification of photocatalytic properties was carried out on the example of the reaction of the decomposition of the methyl orange dye in an aqueous solution.

**Findings.** A powdery oxide material based on copper oxides was obtained by electrolysis. The parameters of influence on the rate of formation of oxides were studied. The product of electrolysis consists of a mixture of copper oxides (I) and (II), the phase ratio depends on the modes of the process. The photocatalytic degradation of methyl orange is considered as a model system for the functionalization of the obtained powder material for the destruction of environmentally hazardous substances.

**Originality.** A new effective product obtained on the basis of copper oxides. The optimal conditions for product synthesis have been determined. It is shown that electrolysis allows influencing the size and shape of the particles of the obtained product, making a free surface for participation in reactions.

**Practical value.** A product based on copper oxides can be used as an effective photocatalyst. Due to its stability and increased photocatalytic activity, the powdered product can be used for water purification after chemical, pharmaceutical, petrochemical and other industries.

**Keywords:** electrolysis; copper oxide; photocatalyst; photocatalytic efficiency; degradation; water purification.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.4.9>

УДК 615.4:  
544.3

<sup>1</sup>СМІШКО Р. О., <sup>1</sup>СТРАШНИЙ В. В., <sup>1</sup>ЛІСОВИЙ В. М.,  
<sup>1</sup>ЛИЖНЮК В. В., <sup>1</sup>ГОЙ А. М., <sup>1</sup>САВЧЕНКО К. І.,  
<sup>2</sup>ВАХІТОВА Л. М., <sup>1</sup>БЕССАРАБОВ В. І.

<sup>1</sup>Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

<sup>2</sup>Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН  
України, Київ, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛОРАТАДИНУ ТА ДЕЗЛОРАТАДИНУ НА АКТИВНІСТЬ 15-ЛІПОКСИГЕНАЗИ

**Мета.** Дослідження впливу антигістамінних активних фармацевтичних інгредієнтів (АФІ) лоратадину та дезлоратадину на активність 15-ліпоксигенази в реакції ферментативного окиснення лінолевої кислоти як субстрату.

**Методика.** Вивчення кінетичних закономірностей та механізмів інгібування 15-ліпоксигенази з використанням спектрофотометричного методу. Розрахунок кінетичних параметрів здійснювали згідно зі стандартними методиками та кінетичними моделями за допомогою програмного забезпечення SigmaPlot 14.0.

**Результати.** Досліджено залежність стаціонарної швидкості перетворення субстрату 15-ліпоксигеназою від концентрацій субстрату без активатора та в присутності лоратадину в різних концентраціях. Встановлено, що лоратадин дозозалежно прискорює перетворення субстрату ензимом і, таким чином, проявляє потенційні прозапальні властивості ( $K_a=29,60\pm 8,28$  мкМ). Показано, що у присутності дезлоратадину в концентраціях 25 мкМ, 50 мкМ, 100 мкМ в системі окиснення лінолевої кислоти 15-LOX спостерігається зменшення стаціонарної швидкості перетворення субстрату ферментом. При цьому концентрація напівмаксимального інгібування ферменту складає  $IC_{50}=287,91\pm 29,02$  мкМ. Встановлено механізм інгібування 15-ліпоксигенази дезлоратадином, який відповідає моделі Mixed (Partial), тобто змішаного (часткового) типу інгібування ( $R^2=0,9688$ ).

**Наукова новизна.** Вперше встановлено, що лоратадин на відміну від дезлоратадину активує 15-ліпоксигеназу, що свідчить про його потенційні прозапальні властивості.

**Практична значимість.** Проведені дослідження доводять, що дезлоратадин може потенційно застосовуватися у якості активного фармацевтичного інгредієнта лікарських засобів з протизапальними властивостями, тому що він є дозозалежним інгібітором 15-LOX. Таким чином, використовуючи даний АФІ можна уникнути явища поліпрагмазії та значно зменшити кількість побічних реакцій в організмі людини, які зазвичай спостерігаються при традиційній терапії нестероїдними протизапальними лікарськими засобами. Зроблено висновок, що в геріатричній практиці для лікування алергічних захворювань доцільно надати перевагу лікарським засобам на основі дезлоратадину. Тривалий прийом лоратадину у людей літнього віку може провокувати посилення запального процесу і пришвидшення оксидативного стресу.

**Ключові слова:** лоратадин; дезлоратадин; активний фармацевтичний інгредієнт; 15-ліпоксигеназа; протизапальні властивості; кінетика.

**Вступ.** Синдром хронічного запалення є поширеним станом у пацієнтів різних вікових груп і, в першу чергу, у людей літнього та старечого віку. Він може виникнути в результаті оксидативного стресу, спричиненого окисненням поліненасичених жирних кислот 15-ліпоксигеназою (15-LOX) та іншими внутрішньоклітинними RedOx ферментами (ензимами) [1]. Відомо, що хронічне запалення призводить до низки різних за патогенезом захворювань, зокрема тяжких нейродегенеративних розладів, серцево-судинних захворювань, атеросклерозу, діабету 2 типу, ревматоїдного артрити, раку тощо [2]. Зважаючи на це велику актуальність представляє пошук та дослідження сполук, які здатні пригнічувати активність 15-LOX і, відповідно, розробка лікарських засобів протизапальної дії з використанням інгібіторів цього ферменту в якості активних фармацевтичних інгредієнтів (АФІ).

Лікарські засоби протизапальної дії мають широке терапевтичне застосування протягом століть з метою лікування запалення різної етіології при багатьох захворюваннях та є одними з найчастіше призначуваних фармацевтичних препаратів у всьому світі [3]. Найбільш поширеними є нестероїдні протизапальні лікарські засоби (НПЛЗ), використання яких небажане для людей літнього та старечого віку, що пов'язане з підвищеним ризиком несприятливих серцево-судинних подій [4, 5] та подразнення слизової оболонки шлунково-кишкового тракту. Тому дуже важливим питанням є пошук та дослідження сполук з ефективною протизапальною активністю та меншою кількістю побічних ефектів.

Зважаючи на це дуже актуальними є дослідження, що спрямовані на вивчення плейотропних ефектів уже відомих активних фармацевтичних інгредієнтів. Такий підхід, у свою чергу, дозволить уникнути явища поліпрагмазії, що є надзвичайно важливо, особливо для геріатричної практики, де виникнення побічних реакцій при одночасному прийомі декількох лікарських засобів підвищується у 5-7 разів [6].

**Постановка завдання.** Група антигістамінних лікарських засобів є перспективною для дослідження плейотропних фармакологічних ефектів [7]. Антигістамінні лікарські засоби першого покоління рідше рекомендуються до застосування, оскільки існує високий ризик побічних реакцій через відсутність рецепторної специфічності, а також ці препарати здатні долати гематоенцефалічний бар'єр [8, 9]. Найчастіше пацієнтам призначають антигістамінні препарати другого покоління [10, 11]. Серед них лоратадин та дезлоратадин є перспективними протизапальними засобами, оскільки зменшують виділення прозапальних медіаторів, інгібуючи гістамінові рецептори, але досліджень, щодо їх взаємодії з самими медіаторами, включно з 15-ліпоксигеназою, бракує [12–14].

Метою роботи є дослідження впливу антигістамінних активних фармацевтичних інгредієнтів (АФІ) лоратадину та дезлоратадину на активність 15-ліпоксигенази в реакції ферментативного окиснення лінолевої кислоти як субстрату.

**Матеріали та методи дослідження.** Для дослідження *in vitro* кінетичних закономірностей та механізмів інгібування 15-ліпоксигенази використовували спектрофотометричний метод. Розрахунок кінетичних параметрів здійснювали відповідно до стандартних методик та кінетичних моделей за допомогою програмного забезпечення SigmaPlot 14.0.

У даній роботі застосовували таке обладнання і матеріали: двопроменевий УФ-спектрофотометр SPECORD 200 (Analytik Jena, Німеччина); одноканальні автоматичні дозатори 50, 200, 1000 мкл; кювети з кварцевого скла з товщиною оптичного шару 1 см; ультразвукову баню JP-008 (Skymen, Китай), лабораторний мультиметр pH/mV/EC/TDS/Temp AD8000 (Adwa, Угорщина); таймер.

Для проведення дослідження активності 15-LOX використовували наступні реактиви: ліпоксидаза типу I-B з сої (Sigma-Aldrich (Merck), США); кислота лінолева 99% (Sigma-Aldrich (Merck), США); калію гідроксид (Lachema, Чеська Республіка); спирт етиловий 96%; натрій фосфорнокислий 2-заміщений 12-водний (Sigma-Aldrich (Merck), США); натрій фосфорнокислий 1-заміщений 2-водний (Sigma-Aldrich (Merck), США); диметилсульфоксид (ДМСО) 99% (Sigma-Aldrich (Merck), США); лоратадин (Vasudha Pharma Chem Limited), Індія); дезлоратадин (Vasudha Pharma Chem Limited), Індія); вода очищена I класу.

Результати виражені як середнє  $\pm$  стандартне відхилення, що оцінено у трьох незалежних повторях. Отримані дані проаналізовано на статистичну значущість за допомогою одностороннього дисперсійного аналізу ANOVA з пост-факторним тестом Tukey HSD. Значення  $p < 0,05$  вважали достовірними.

**Результати дослідження та обговорення.** Вивчення протизапальних властивостей ґрунтується на визначенні активності ензиму 15-LOX в реакції окиснення лінолевої кислоти як субстрату. Дослідження здійснювали за допомогою спектрофотометричного методу

шляхом реєстрації збільшення ступеня поглинання спряженого дієнового хромофора у молекулі гідропероксиду лінолевої кислоти протягом певного проміжку часу при довжині хвилі  $\lambda=235$  нм [15].

Порівняння значень стаціонарної швидкості реакції окиснення лінолевої кислоти за каталітичної дії 15-LOX та в присутності лоратадину в концентраціях 12,5 мкМ, 25 мкМ, 50 мкМ в системі показало, що лоратадин виявляє прозапальні властивості, як це видно з графіку залежності Міхаеліса-Ментен (рис. 1).

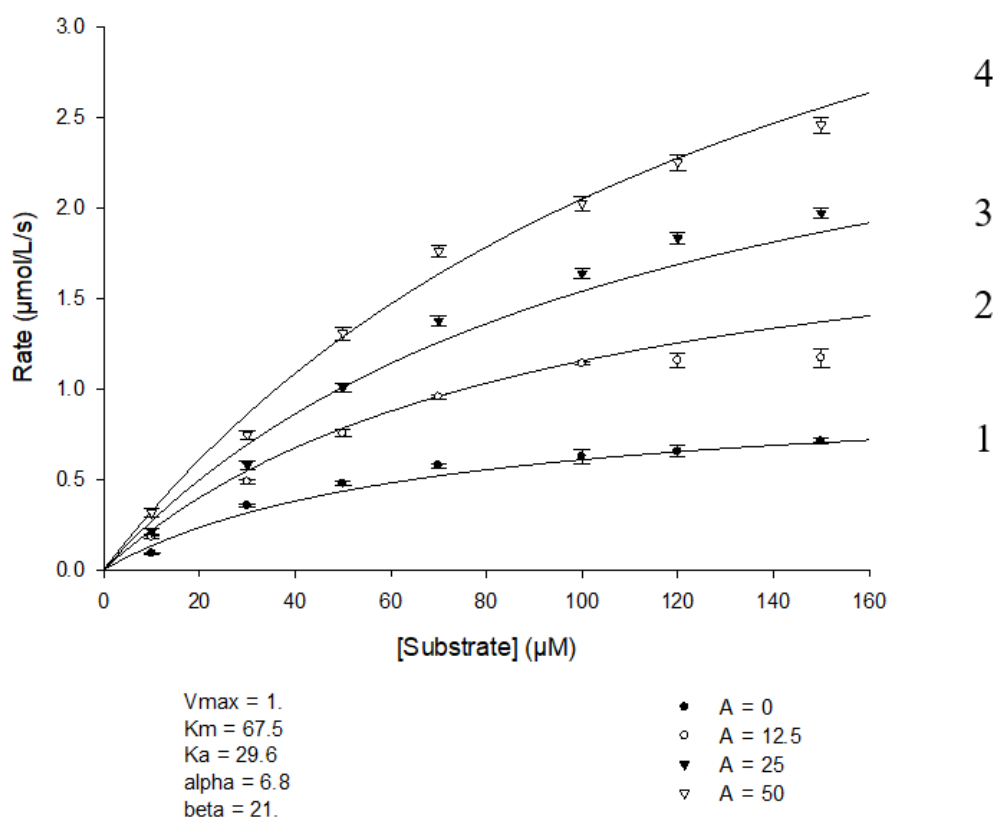


Рис. 1. Залежність стаціонарної швидкості перетворення субстрату 15-ліпоксигеназою від концентрацій субстрату без активатора (крива 1) та в присутності лоратадину в концентраціях 12,5 мкМ (крива 2), 25 мкМ (крива 3), 50 мкМ (крива 4)

Проведено серію розрахунків в різних умовах з ранжируванням результатів за критерієм значення коефіцієнта кореляції з метою визначення найбільш прийнятної кінетичної моделі та відповідного типу активації. Встановлено, що ензим демонструє здатність перетворювати субстрат без активатора, хоча і з меншою швидкістю, ніж у його присутності ( $R^2=0,98174$ ). Розраховані за обраною моделлю кінетичні константи мають такі значення:  $K_a=29,60 \pm 8,28$  мкМ,  $K_m=67,5 \pm 14,8$  мкМ.

Наявність цих ефектів показана на графіку зміни швидкості перетворення субстрату 15-ліпоксигеназою в залежності від початкової концентрації субстрату та концентрації активатора лоратадину в зворотних координатах рівняння Лайнуївера-Берка (рис. 2).

У присутності дезлоратадину в концентраціях 25 мкМ, 50 мкМ, 100 мкМ в системі окиснення лінолевої кислоти 15-LOX спостерігали зменшення стаціонарної швидкості перетворення субстрату ферментом (рис. 3).

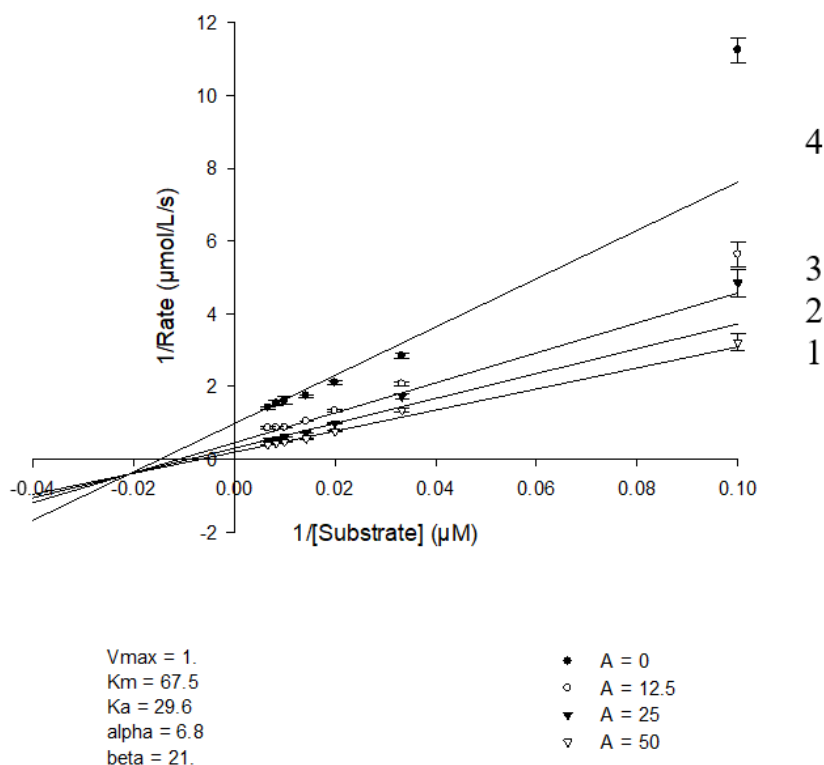


Рис. 2. Лінеаризація в координатах Лайнуівера-Берка ( $1/V_{st}=f([S])$ ) залежності швидкості перетворення субстрату 15-ліпоксигеназою від концентрацій субстрату без активатора (крива 4) та в присутності лоратадину в концентраціях 12,5 мкМ (крива 3), 25 мкМ (крива 2) і 50 мкМ (крива 1)

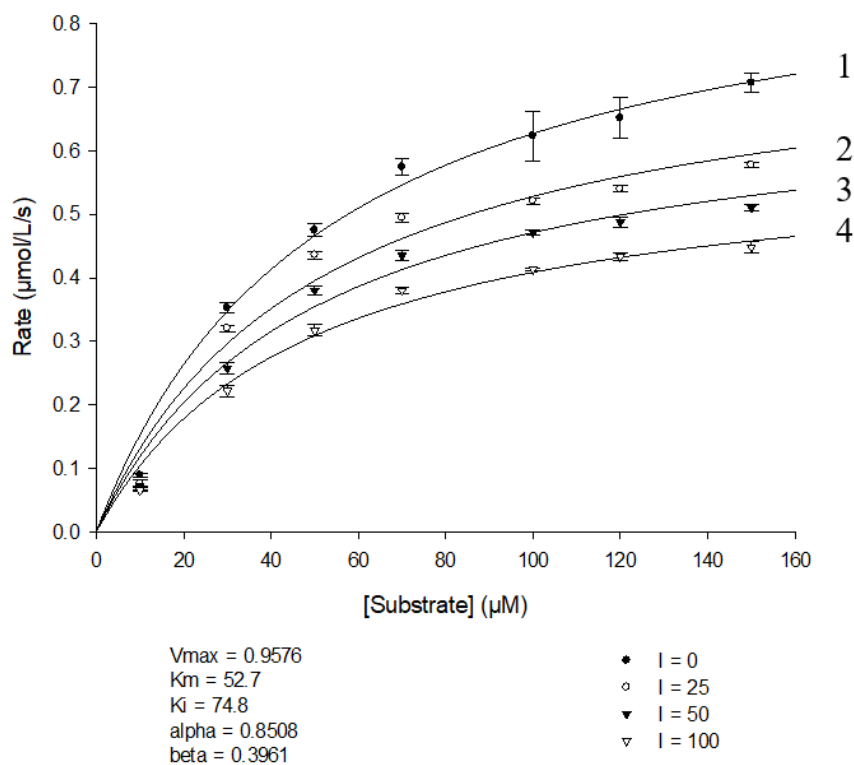


Рис. 3. Залежність стаціонарної швидкості перетворення субстрату 15-ліпоксигеназою від концентрацій субстрату без інгібітору (крива 1) та в присутності дезлоратадину в концентраціях 25 мкМ (крива 2), 50 мкМ (крива 3), 100 мкМ (крива 4)

Також визначено найбільш прийнятну кінетичну модель та відповідний тип інгібування шляхом проведення серії розрахунків в різних умовах з ранжируванням результатів за критерієм значення коефіцієнта кореляції  $R^2$ . Встановлено, що найбільш придатною є модель Mixed (Partial), тобто змішаного (часткового) типу інгібування ( $R^2=0,9688$ ). Такий тип інгібування зустрічається тоді, коли інгібітор зв'язується і у активному центрі, і зовні ензиму, а утворений ензим-субстратний комплекс зберігає часткову активність порівняно з нативним ензимом.

Кінетичні константи, які розраховані за обраною моделлю, мають наступні значення:  $K_i = 74,82 \pm 26,55 \mu\text{M}$ ;  $K_m = 52,67 \pm 5,38 \mu\text{M}$ ;  $V_{\max} = 0,957 \pm 0,04 \mu\text{M/сек}$ .

Результати проведеного дослідження свідчать про те, що дезлоратадин виступає інгібітором 15-ліпоксигенази, що підтверджує його протизапальні властивості, які залежать від його концентрації в системі. Даний АФІ знижує максимальну швидкість ферментативної реакції та підвищує константу Міхаеліса, що повністю відповідає ефекту змішаного інгібування. Наявність цих ефектів відображено на графіку зміни швидкості перетворення 15-ліпоксигеназою субстрату залежно від початкової концентрації субстрату та концентрації інгібітора в зворотних координатах рівняння Лайнуївера-Берка (рис. 4).

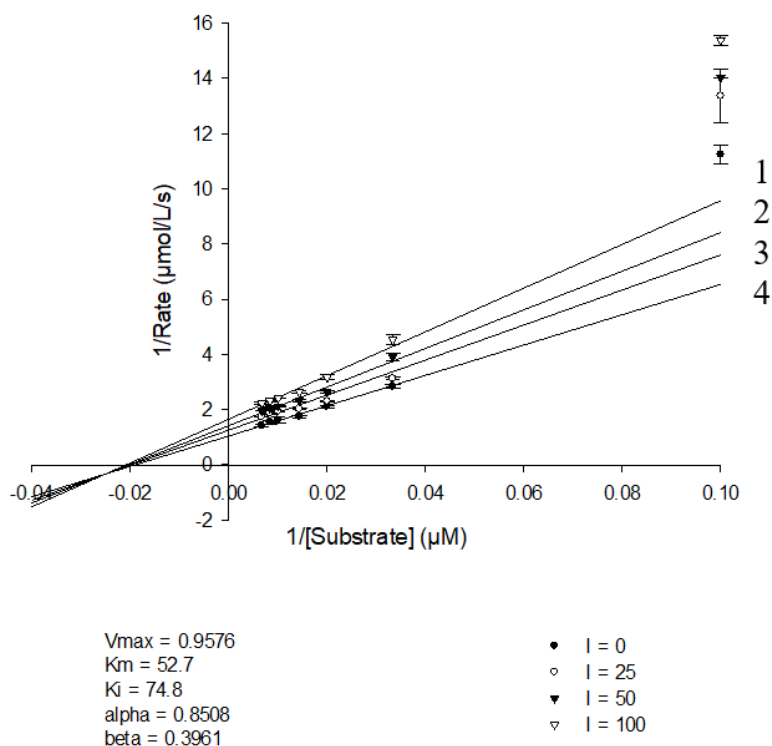


Рис. 4. Лінеаризація в координатах Лайнуївера-Берка ( $1/V_{st}=f([S])$ ) залежності швидкості перетворення субстрату 15-ліпоксигеназою від концентрацій субстрату без інгібітору (крива 4) та в присутності дезлоратадину в концентраціях 25 мкМ (крива 3), 50 мкМ (крива 2) і 100 мкМ (крива 1)

Для кількісного визначення інгібувальної здатності дезлоратадину по відношенню до 15-ліпоксигенази була розрахована концентрація ліганда-інгібітора, яка необхідна для інгібування каталітичної активності ферменту на 50% відносно його нативного стану (концентрація напівмаксимального інгібування):  $IC_{50} = 287,91 \pm 29,02 \mu\text{M}$ .

Таким чином, можна вважати, що дезлоратадин володіє протизапальними властивостями як інгібітор 15-ліпоксигенази. Предметом майбутніх наукових розвідок може стати дослідження технологій використання дезлоратадину у розробці та виробництві геріатричних лікарських засобів.

**Висновки.** Досліджено вплив антигістамінних АФІ, лоратадину та дезлоратадину, на активність 15-ліпоксигенази в умовах *in vitro* та встановлено, що дезлоратадин виявляє інгібуючі властивості щодо активності досліджуваного ферменту, у той час, як лоратадин демонструє прозапальні властивості у цій системі.

Одержані результати дають змогу стверджувати, що дезлоратадин потенційно може застосовуватися у якості активного фармацевтичного інгредієнта лікарських засобів з протизапальними властивостями, що, відповідно, дозволить зменшити число побічних реакцій в організмі пацієнта, які виникають при застосуванні нестероїдних протизапальних засобів та уникнути явища поліпрагмазії.

Також можна зробити висновки, що у геріатричній практиці для лікування алергічних захворювань доцільно надати перевагу лікарським засобам на основі дезлоратадину. Тривалий прийом лоратадину у людей літнього віку може провокувати посилення запального процесу і пришвидшення оксидативного стресу.

### References

### Література

1. Ito, F., Sono, Y., Ito, T. (2019). Measurement and clinical significance of lipid peroxidation as a biomarker of oxidative stress: oxidative stress in diabetes, atherosclerosis, and chronic inflammation. *Antioxidants*, 8(3), 72.
1. Ito F., Sono Y., Ito T. Measurement and clinical significance of lipid peroxidation as a biomarker of oxidative stress: oxidative stress in diabetes, atherosclerosis, and chronic inflammation. *Antioxidants*. 2019. Vol. 8(3). P. 72.
2. Khansari, N., Shakiba, Y., Mahmoudi, M. (2009). Chronic inflammation and oxidative stress as a major cause of age-related diseases and cancer. *Recent patents on inflammation & allergy drug discovery*, 3(1), 7–80.
2. Khansari N., Shakiba Y., Mahmoudi M. Chronic inflammation and oxidative stress as a major cause of age-related diseases and cancer. *Recent patents on inflammation & allergy drug discovery*. 2009. Vol. 3(1). P. 73–80.
3. Tomy, M. J., Dileep, K. V., Prasanth, S., Preethidan, D. S., Sabu, A., Sadasivan, C., Haridas, M. (2014). Cuminaldehyde as a lipoxygenase inhibitor: in vitro and in silico validation. *Applied biochemistry and biotechnology*, 174(1), 388–397.
3. Tomy M. J., Dileep K. V., Prasanth S., Preethidan D. S., Sabu A., Sadasivan C., Haridas M. Cuminaldehyde as a lipoxygenase inhibitor: in vitro and in silico validation. *Applied biochemistry and biotechnology*. 2014. 174(1). P. 388–397.
4. Xu, Y., Li, W., Han, Y., Liu, H., Zhang, S., Yan, J., ... & Zhao, M. (2021). Regulatory effects of non-steroidal anti-inflammatory drugs on cardiac ion channels Nav1.5 and Kv11.1. *Chemico-Biological Interactions*, 338, 109425.
4. Xu Y., Li W., Han Y., Liu H., Zhang S., Yan J., Zhao M. Regulatory effects of non-steroidal anti-inflammatory drugs on cardiac ion channels Nav1.5 and Kv11.1. *Chemico-Biological Interactions*. 2021. Vol. 338. 109425.
5. McGettigan, P., Henry, D. (2013). Use of non-steroidal anti-inflammatory drugs that elevate cardiovascular risk: an examination of sales and essential medicines lists in low-, middle-, and high-income countries. *PLoS medicine*, 10(2), e1001388.
5. McGettigan P., Henry D. Use of non-steroidal anti-inflammatory drugs that elevate cardiovascular risk: an examination of sales and essential medicines lists in low-, middle-, and high-income countries. *PLoS medicine*. 2013. Vol. 10(2), e1001388.
6. Mouazer, A., Tsopra, R., Sedki, K., Letord, C., Lamy, J. B. (2022). Decision-support systems for managing polypharmacy in the elderly: A scoping review. *Journal of Biomedical Informatics*, 104074.
6. Mouazer A., Tsopra R., Sedki K., Letord C., Lamy J. B. Decision-support systems for managing polypharmacy in the elderly: A scoping review. *Journal of Biomedical Informatics*. 2022. 104074.
7. Kordulewska, N., Cieślińska, A., Fiedorowicz, E., Jarmołowska, B., Kostyra, E. (2019). Effect of the Fexofenadine on the expression of HRH-1 and HRH-4 receptor in Peripheral Blood Mononuclear Cell isolated from children with diagnosed allergy—in vitro study Short communication. *Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*, 22, 93–97.
7. Kordulewska N., Cieślińska A., Fiedorowicz E., Jarmołowska B., Kostyra E. Effect of the Fexofenadine on the expression of HRH-1 and HRH-4 receptor in Peripheral Blood Mononuclear Cell isolated from children with diagnosed allergy—in vitro study Short communication. *Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*. 2019. Vol. 22. P. 93–97.
8. Kohli, S., Tayal, R., Goyal, T. (2022). Antihistamines in children: A dermatological
8. Kohli S., Tayal R., Goyal T. Antihistamines in children: A dermatological perspective. *Indian*

- perspective. *Indian Journal of Paediatric Dermatology*, 23(1), 8.
9. Ahmed, E. A., Abdel-Emam, R. A. (2019). The potential impact of 1st and 2nd generation antihistamines on male fertility. *Comparative Clinical Pathology*, 28(5), 1465–1470.
10. Fein, M. N., Fischer, D. A., O’Keefe, A. W., Sussman, G. L. (2019). CSACI position statement: Newer generation H1-antihistamines are safer than first-generation H1-antihistamines and should be the first-line antihistamines for the treatment of allergic rhinitis and urticaria. *Allergy, Asthma & Clinical Immunology*, 15(1), 1–6.
11. Sanchez-Borges, M., Ansotegui, I. J. (2019). Second generation antihistamines: an update. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 19(4), 358–364.
12. Plekhova, N. G., Eliseeva, E. V., Dubnyak, I. N. (2021). Antihistamines modulate functional activity of macrophages. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 170(6), 759–762.
13. Hunto, S. T., Kim, H. G., Baek, K. S., Jeong, D., Kim, E., Kim, J. H., Cho, J. Y. (2020). Loratadine, an antihistamine drug, exhibits anti-inflammatory activity through suppression of the NF-κB pathway. *Biochemical Pharmacology*, 177, 113949.
14. Fritz, I., Wagner, P., Olsson, H. (2021). Improved survival in several cancers with use of H1-antihistamines desloratadine and loratadine. *Translational oncology*, 14(4), 101029.
15. Kharytonenko, H. I., Skaterna, T. D., Melnyk, A. K. (2008). Vzaiemodiia 5-lipoksyhenazyz alocterychnym efektorom – dodetsylculfatom natriiu [Interaction of 5-lipoxygenase with an allosteric effector – sodium dodecyl sulfate]. *Ukr. biokhim. Zhurn = Ukrainian biochemical journal*, (3), P. 31–39 [in Ukrainian].
- Journal of Paediatric Dermatology*. 2022. Vol. 23(1). 8.
9. Ahmed E. A., Abdel-Emam R. A. The potential impact of 1st and 2nd generation antihistamines on male fertility. *Comparative Clinical Pathology*. 2019. Vol. 28(5). P. 1465–1470.
10. Fein M. N., Fischer D. A., O’Keefe A. W., Sussman G. L. CSACI position statement: Newer generation H1-antihistamines are safer than first-generation H1-antihistamines and should be the first-line antihistamines for the treatment of allergic rhinitis and urticaria. *Allergy, Asthma & Clinical Immunology*. 2019. Vol. 15(1). P. 1–6.
11. Sanchez-Borges M., Ansotegui I. J. Second generation antihistamines: an update. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*. 2019. Vol. 19(4). P. 358–364.
12. Plekhova N. G., Eliseeva E. V., Dubnyak I. N. Antihistamines modulate functional activity of macrophages. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2021. Vol. 170(6). P. 759–762.
13. Hunto S. T., Kim H. G., Baek K. S., Jeong D., Kim E., Kim J. H., Cho J. Y. Loratadine, an antihistamine drug, exhibits anti-inflammatory activity through suppression of the NF-κB pathway. *Biochemical Pharmacology*. 2020. Vol. 177. 113949.
14. Fritz I., Wagner P., Olsson H. Improved survival in several cancers with use of H1-antihistamines desloratadine and loratadine. *Translational oncology*. 2021. Vol. 14(4). 101029.
15. Харитоненко Г. І., Скатерна Т. Д., Мельник А. К. Взаємодія 5-ліпоксигеназиз алостеричним ефектором – додецилсульфатом натрію. *Укр. біохім. журн.* 2008. №3. С. 31–39.

**SMISHKO ROMAN**

Postgraduate, Department of Industrial Pharmacy,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-8479-2612>  
E-mail: [smishko.ro@knuud.edu.ua](mailto:smishko.ro@knuud.edu.ua)

**LISOVYI VADYM**

Postgraduate, Department of Chemical  
Technologies and Resource Saving; Assistant,  
Department of Industrial Pharmacy,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8038-0650>  
Scopus Author ID: 57953524800

**STRASHNYI VLADYSLAV**

Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor,  
Head of Department of Industrial Pharmacy,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<http://orcid.org/0000-0002-9188-1821>  
Scopus Author ID: 6507921131  
E-mail: [strashniy.vv@knuud.edu.ua](mailto:strashniy.vv@knuud.edu.ua)

**LYZHNIUK VIKTORIYA**

Researcher of Molecular Pharmacology,  
Chemogenomics and Biogerontology Laboratory,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0009-0000-0976-0311>  
Researcher ID: IZE-1153-2023  
E-mail: [v.lyzhniuk@kyivpharma.eu](mailto:v.lyzhniuk@kyivpharma.eu)

Researcher ID: IZE-0395-2023  
E-mail: [lisovyi.vm@knuud.edu.ua](mailto:lisovyi.vm@knuud.edu.ua)

**GOY ANDRIY**

Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate  
Professor, Department of Industrial Pharmacy,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0009-0004-7044-4050>  
E-mail: [goy.am@knuud.edu.ua](mailto:goy.am@knuud.edu.ua)

**VAKHITOVA LIUBOV**

Candidate of Chemical Sciences, Senior Research  
Fellow, Department of Nucleophilic Reactions Research,  
L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal  
Chemistry of the National Academy  
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1923-7895>  
Scopus Author ID: 8443383300  
Researcher ID: J-9402-2016  
E-mail: [L.M.Vakhitova@nas.gov.ua](mailto:L.M.Vakhitova@nas.gov.ua)

**SAVCHENKO KARYNA**

Master student, Department of Industrial Pharmacy,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
E-mail: [k.savchenko@kyivpharma.eu](mailto:k.savchenko@kyivpharma.eu)

**BESSARABOV VOLODYMYR**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Department of Industrial Pharmacy,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine  
<http://orcid.org/0000-0003-0637-1729>  
Scopus Author ID: 36917184700  
Researcher ID: D-3425-2017  
E-mail: [v.bessarabov@kyivpharma.eu](mailto:v.bessarabov@kyivpharma.eu)

<sup>1</sup>SMISHKO R. O., <sup>1</sup>STRASHNYI V. V., <sup>1</sup>LISOVYI V. M., <sup>1</sup>LYZHNIUK V. V., GOY A. M.,  
<sup>1</sup>SAVCHENKO K. I., <sup>2</sup>VAKHITOVA L. M., <sup>1</sup>BESSARABOV V. I.

<sup>1</sup> Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

<sup>2</sup> L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal Chemistry of the National Academy  
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**STUDY OF THE INFLUENCE OF LORATADINE AND DESLORATADINE  
ON 15-LIPOXYGENASE ACTIVITY**

**Purpose.** Investigation of the effect of antihistamine active pharmaceutical ingredients (APIs) loratadine and desloratadine on the activity of 15-lipoxygenase in the reaction of enzymatic oxidation of linoleic acid as a substrate.

**Methodology.** Study of kinetic patterns and mechanisms of 15-lipoxygenase inhibition using the spectrophotometric method. Calculation of kinetic parameters according to standard methods and kinetic models in the SigmaPlot 14.0 software package.

**Findings.** The dependence of the stationary rate of substrate conversion by 15-lipoxygenase on substrate concentrations without an activator and in the presence of loratadine in different concentrations was investigated. It was established that loratadine dose-dependently accelerates the conversion of the substrate by the enzyme and, thus, exhibits potential pro-inflammatory properties ( $K_a=29.60 \pm 8.28 \mu\text{M}$ ). It was shown that in the presence of desloratadine in concentrations of 25  $\mu\text{M}$ , 50  $\mu\text{M}$ , 100  $\mu\text{M}$  in the 15-LOX linoleic acid oxidation system, a decrease in the steady-state rate of substrate conversion by the enzyme is observed. At the same time, the concentration of half-maximal inhibition of fever is  $\text{IC}_{50}=287.91 \pm 29.02 \mu\text{M}$ . The mechanism of inhibition of 15-lipoxygenase by desloratadine was established, which corresponds to the Mixed (Partial) model of inhibition ( $R^2=0.9688$ ).

**Originality.** For the first time, it was established that loratadine, unlike desloratadine, activates 15-lipoxygenase, which indicates its potential pro-inflammatory properties.

**Practical value.** The conducted studies prove that desloratadine can potentially be used as an active pharmaceutical ingredient of drugs with anti-inflammatory properties, as it has a high efficiency as a 15-LOX inhibitor. The use of this API will avoid the phenomenon of polypharmacy and reduce the number of adverse reactions in the patient's body that occur during traditional therapy with nonsteroidal anti-inflammatory drugs. It was concluded that in geriatric practice for the treatment of allergic diseases it is advisable to give preference to drugs based on desloratadine. Long-term use of loratadine in the elderly can provoke an increase in the inflammatory process and acceleration of oxidative stress.

**Keywords:** loratadine; desloratadine; active pharmaceutical ingredient; 15-lipoxygenase; anti-inflammatory properties; kinetics.

# ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖИНІРИНГ

Комп'ютерний набір та макетування

КРИВОНОС Олена

Технічний редактор

ПАНАСЮК Ігор

Відповідальний за поліграфічне виконання

ОВЕЧКІНА Лілія

Підп. до друку 27.09.2023. Формат 60×84 1/8.  
Ум. друк. арк. 12,08. Облік. вид. арк. 9,46. Наклад 100 пр. Зам. .

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 27.09.2023. Format 60×84 1/8.  
Conditional sheet 12.08. Calculated sheet 9.46. Circulation 100 copies. Order N .

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.