

FASHION
INDUSTRY

ІНДУСТРІЯ МОДИ

UKRAINE

№3. 2026



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

Індустрія моди.

Fashion Industry

№ 3, 2026 / Issue 3, 2026

DOI: 10.30857/2706-5898.2026.3

Наукове фахове видання / Scientific Specialized Edition

Періодичність виходу: 4 разів на рік / Issued: 4 times a year

Дата заснування / Founded: 1921 р.

Київ / Kyiv 2026

Засновником видання «Індустрія моди. Fashion Industry» є

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Фаховий науково-виробничий журнал «Індустрія моди. Fashion Industry» – це єдине інформаційне видання галузі, історія якого почалась з назви "Легка промисловість" і було інформаційним флагманом легкої промисловості. Журнал «Індустрія моди. Fashion Industry» є його правонаступником, тому буде послідовно і віддано продовжувати його традиції. Українською мовою журнал видається з 1960 року.

№ 3, 2026

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ: Серія КВ №23909-13749Р від 19.04.2019 р.

Журнал зареєстровано як суб'єкт у сфері друкованих медіа – ідентифікатор R30-07201 (Рішення Національної Ради від 09.04.2026 р. №1033).

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

Журнал входить до переліку наукових фахових видань України згідно Наказу МОН України від 11.06.2026 № 928 (додаток 10). Категорія Б.

Кластер наукового фахового видання та галузі знань і спеціальності, за якими видання публікує наукові праці: Промислові і будівельні технології, логістика, транспорт: **G11** Машинобудування (за спеціалізаціями); **G15** Технології легкої промисловості.

ISSN: 2706-588X
e ISSN: 2706-5898

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

Журнал реферується та індексується у наступних міжнародних базах даних: Національна бібліотека України ім.В.І. Вернадського, Google Scholar, Репозитарій КНУТД, ІАС «Українська наукова періодика», Crossref

Засновник і видавець:

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

Головний редактор:

Редько Яна Володимирівна – докторка технічних наук, професорка, декан факультету мистецтв і моди, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Заступник

головного редактора:

Колосніченко Марина Вікторівна – докторка технічних наук, професорка, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Відповідальний редактор:

Мельник Людмила Михайлівна – кандидатка технічних наук, доцентка, доцентка кафедри мистецтва та дизайну костюма, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Фаховий науково-виробничий журнал «Індустрія моди. Fashion Industry» є періодичним виданням, в якому публікуються наукові, науково-популярні, науково-навчальні, науково-методичні, науково-публіцистичні, оглядові та інформаційні статті щодо потенціалу та тенденцій розвитку ринку індустрії моди, текстильної промисловості та суміжних галузей, а також рекламні матеріали.

Журнал «Індустрія моди» створено з метою: інформування про стан та умови розвитку індустрії моди та суміжних галузей; публікування статей, що розкривають сучасний стан наукових знань у галузі; інформаційного супроводу діяльності підприємств галузі.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

01011, м. Київ, вул. Мала Шияновська, 2, корп. 1, к. 1-0295

тел./факс: +38 (044) 280-75-52

e-mail: im@knuutd.edu.ua; <https://im.knuutd.edu.ua>

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 2 від 30.09.2026 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.

The owner of "Індустрія моди. Fashion Industry" is

KYIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

The specialized scientific and industrial journal "*Fashion Industry*" is the only dedicated information publication in the sector, with a history dating back to 1921, when it was founded under the title "*Light Industry*" and served as a leading information platform for the light industry.

The journal "*Fashion Industry*" is its legal successor and will consistently and faithfully continue its established traditions. The journal has been published in Ukrainian since 1960.

Issue 3, 2026

The state registration of print media is: Certificate KB №23909–13749P, dated on 18 April 2019.

The magazine is registered as an entity in the field of print media – identifier R30-07201 (Decision of the National Council dated April 9, 2026 No. 1033).

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

The journal is included in the List of Scientific Professional Publications of Ukraine in accordance with the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 928 (Annex 10) dated June 11, 2026, and is classified under Category B in the following specialties: **G11, G15** (Cluster: Industrial and construction technologies, logistics, transport).

ISSN: 2706-588X
e ISSN: 2706-5898

The journal is registered in ISSN International Centre, Paris.

The journal is abstracted and indexed in the V. I. Vernadsky National Library of Ukraine, Google Scholar, Repository of Kyiv National University of Technologies and Design, Information and Analytical System Ukrainian Scientific Periodicals, and Crossref.

Owner and Publisher:

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

Editor-in-Chief:

Redko Yana – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Arts and Fashion,.

Deputies Editor-in-Chief:

Kolosnichenko Maryna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the State Prize of Ukraine in the field of science and technology.

Executive Editor:

Melnyk Liudmyla – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Art and Costume Design.

The specialized scientific and industrial journal "*Fashion Industry*" is a periodical publication that features scientific, popular science, educational, methodological, analytical, review, and informational articles addressing the potential and development trends of the fashion industry market, the textile industry, and related sectors, as well as promotional materials.

The journal "*Fashion Industry*" was established with the aim of: providing information on the current state and development conditions of the fashion industry and related fields; publishing articles that reflect the current state of scientific knowledge in the field; and supporting the informational needs of industry enterprises.

EDITORIAL OFFICE:

01011, Ukraine, Kyiv, 2, Mala Shyianovska Str., office 1-0295

Tel./fax: +38 (044) 280-75-52

e-mail: im@kntud.edu.ua; <https://im.kntud.edu.ua>

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 2 originating date 30.09.2026.

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 фахового науково-виробничого журналу «Індустрія моди. Fashion Industry»

Редько Яна Володимирівна – докторка технічних наук, професорка, декан факультету мистецтв і моди, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *головний редактор*; ORCID 0000-0001-7284-6898, Scopus ID: 14058988300.

Колосніченко Марина Вікторівна – докторка технічних наук, професорка, професорка кафедри моди та стилю, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – заступник головного редактора; ORCID 0000-0003-0020-3214, Scopus ID: 24076493500.

Мельник Людмила Михайлівна – кандидатка технічних наук, доцентка, доцентка кафедри мистецтва та дизайну костюма, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – відповідальний редактор; ORCID 0000-0003-1104-647X, Scopus ID: 57191415977.

Арабулі Арсеній Торелевич – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри моди та стилю, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна; ORCID 0000-0002-2583-4998, Scopus ID: 23093245500.

Гараніна Ольга Олександрівна – докторка технічних наук, професорка, завідувачка кафедри технології моди, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна; ORCID 0000-0002-4715-3851, Scopus ID: 57204472215.

Первая Наталія Володимирівна – докторка технічних наук, професорка, професорка кафедри технології моди, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна; ORCID 0000-0002-5086-3926, Scopus ID: 57208470971.

Колосніченко Олена Володимирівна – докторка мистецтвознавства, професорка, професорка кафедри моди та стилю, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна; ORCID 0000-0001-5665-0131, Scopus ID: 55791007500.

Панасюк Ігор Васильович – доктор технічних наук, професор, декан факультету інженерії та інформаційних технологій, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна; ORCID 0000-0001-6671-4266, Scopus ID: 57219251131.

Залюбовський Марк Геннадійович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри механічної інженерії, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна; ORCID 0000-0002-9183-2771, Scopus ID: 57216820108.

Кулешова Світлана Геннадіївна – докторка технічних наук, професорка, завідувачка кафедри технології і конструювання швейних виробів, Хмельницький національний університет, Україна; ORCID 0000-0003-2361-2950, Scopus ID: 57195260301.

Рябчиков Микола Львович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технологій легкої промисловості, Луцький національний технічний університет, Україна; ORCID 0000-0002-9382-7562, Scopus ID: 54405773500.

Синюк Олег Миколайович – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Хмельницький національний університет, Україна; ORCID 0000-0002-9615-0729, Scopus ID: 57216753943.

Щербань Юрій Юрійович – доктор технічних наук, професор, заступник директора з академічних питань та інформатизації, Київський фаховий коледж прикладних наук, Україна; ORCID 0000-0001-5024-8387, Scopus ID: 57216948016.

Daiva Mikucioniene – PhD, Full Professor, заступник декана з наукової роботи факультету механічної інженерії та дизайну, Каунаський технологічний університет технологій, Литва; ORCID 0000-0002-2219-2643, Scopus ID: 11439797000.

Tatjana Spahiu – PhD, Associated Prof., керівник навчальної групи «Технологія та дизайн одягу», Політехнічний університет Тирани, Албанія; ORCID 0000-0002-8959-6677, Scopus ID: 57197814827.

Vladimir Bajzik – PhD, Associated Prof., декан факультету текстильної інженерії. Технічний університет м. Ліберець, Чеська Республіка; ORCID 0000-0002-0390-0755, Scopus ID: 6602491651.

Ján Kosiba – PhD, doc. Ing., заступник декана факультету інженерії, Словацький університет сільськогосподарства у м. Нітра, Словацька Республіка; ORCID 0000-0002-4213-6374, Scopus ID: 36486690100.

Pavol Liptai – PhD, Associated Prof., доцент факультету матеріалів, металургії та переробки, Кошицький технічний університет, Словацька Республіка; ORCID 0000-0001-8197-6627, Scopus ID: 56006964600.

ЗМІСТ

1.	Іщук Т. Інновації та цифровізація у хімічній і текстильній промисловості: перспективи для спеціальних матеріалів	6
2.	Арабулі С., Арабулі А., Свидло О. Покращення захисту від електромагнітного випромінювання змішаних тканин: модифікація, властивості та комфортність	15
3.	Полюхович А., Ковальов Ю. Теоретичне обґрунтування концепції гібридної транспортно- логістичної платформи	27
4.	Обелець А., Бабич А. Філософія принципів slow fashion та upcycling як основа для розробки капсульної колекції виробів індустрії моди	37
5.	Воляник О., Носов О. Аналіз перспектив застосування магнітних підшипників у роликотранспортних системах підприємств легкої промисловості	49

TABLE OF CONTENTS

1.	Ishchuk T. Innovations and digitalization in the chemical and textile industries: prospects for special textile materials	6
2.	Arabuli S., Arabuli A., Svydlo O. Improvement of emr protection of the blended fabrics: modification, properties and comfort	15
3.	Poliukhovych A., Koval'ov Yu. Theoretical justification of the concept of a hybrid transport and logistics platform	27
4.	Obelets A., Babych A. The philosophy of slow fashion and upcycling principles as a basis for developing a capsule fashion collection	37
5.	Volianyk O., Nosov O. Analysis of the prospects for using magnetic bearings in roller conveyor systems at light industry enterprises	49

ІЩУК ТЕТЯНАХмельницький національний університет, Україна
e-mail: ishchuk.tetiana@khnmu.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0009-8679-9020>

ІННОВАЦІЇ ТА ЦИФРОВІЗАЦІЯ У ХІМІЧНІЙ І ТЕКСТИЛЬНІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ: ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета. Комплексний аналіз сучасних інноваційних і цифрових технологій у хімічній та текстильній промисловості з акцентом на їхню роль у створенні спеціальних текстильних матеріалів (захисного, медичного та функціонального призначення) із заданими експлуатаційними властивостями та можливістю їх цілеспрямованого проєктування.

Методи дослідження ґрунтуються на бібліометричному аналізі наукових публікацій, індексованих у базі даних Scopus за 2010–2025 рр., за сімома тематичними пошуковими запитамі, а також контент-аналізі відібраних літературних джерел. Оцінювали абсолютну кількість результатів, їх відносну представленість і часову динаміку за досліджуваними тематичними напрямками.

Результати. Встановлено суттєві відмінності у масштабах і динаміці публікаційної активності за досліджуваними тематичними напрямками. Найбільшу частку в сумарній кількості результатів пошуку становили напрями «advanced textile materials» (44,9%) та «digital transformation of manufacturing» (21,0%). Після 2020 року найбільш виражене зростання публікаційної активності спостерігалось у сфері цифрової трансформації виробництва. Контент-аналіз літературних джерел підтвердив зростання ролі штучного інтелекту, машинного навчання, цифрових двійників, наноматеріалів і цифрового проєктування у створенні функціональних та спеціальних текстильних матеріалів.

Наукова новизна полягає у поєднанні порівняльного аналізу публікаційної динаміки за сімома тематичними пошуковими запитамі Scopus із контент-аналізом сучасних цифрових технологій та встановленні їх ролі у прогнозуванні й цілеспрямованому формуванні властивостей спеціальних текстильних матеріалів захисного, медичного та функціонального призначення.

Практичне значення полягає у можливості застосування отриманих результатів для інженерного проєктування текстильних матеріалів із керованими функціональними характеристиками, оптимізації технологічних процесів їх виробництва та підвищення ефективності впровадження інновацій у промислову практику.

Ключові слова: цифровізація; текстильні матеріали; smart-текстиль; наноматеріали; хімічна інженерія.

INNOVATIONS AND DIGITALIZATION IN THE CHEMICAL AND TEXTILE INDUSTRIES: PROSPECTS FOR SPECIAL TEXTILE MATERIALS

ISHCHUK TETIANA

Khmelnytskyi National University, Ukraine

Purpose. The purpose of the study is a comprehensive analysis of modern innovative and digital technologies in the chemical and textile industries with a focus on their role in the development of special textile materials for protective, medical, and functional applications with predetermined performance properties and the possibility of their targeted design.

Methodology. The study is based on a bibliometric analysis of scientific publications indexed in the Scopus database from 2010 to 2025 using seven thematic search queries, combined with a content analysis of selected literature sources. The absolute number of search results, their relative representation, and temporal dynamics across the investigated thematic areas were evaluated.

Results. Significant differences were identified in the scale and dynamics of publication activity across the investigated thematic areas. The largest shares of the total search results were recorded for “advanced textile materials” (44.9%) and “digital transformation of manufacturing” (21.0%). After 2020, the most pronounced increase in publication activity was observed in the field of digital transformation of manufacturing. The content analysis confirmed the growing role of artificial intelligence, machine learning, digital twins, nanomaterials, and digital design in the development of functional and special textile materials.

Scientific novelty. The scientific novelty lies in combining a comparative analysis of publication dynamics across seven thematic Scopus search queries with a content analysis of contemporary digital technologies, as well as in determining their role in predicting and purposefully tailoring the properties of special textile materials for protective, medical, and functional applications.

Practical significance. The practical significance of the research consists in the possibility of applying the obtained results for engineering design of textile materials with controlled functional characteristics, optimization of technological production processes, and increasing the efficiency of innovation implementation in industrial practice.

Keywords: digitalization; textile materials; smart textiles; nanomaterials; chemical engineering.

Вступ. Сучасна хімічна та текстильна промисловість розвивається в умовах глибокої цифрової трансформації, що формує нову парадигму матеріалознавства, орієнтовану на створення функціональних та інтелектуальних текстильних систем. Smart-текстиль еволюціонує як міждисциплінарна галузь, що поєднує матеріалознавство, хімічну інженерію, електроніку та комп'ютерні науки, забезпечуючи розширення функцій традиційних текстильних матеріалів від пасивних до адаптивних і інтерактивних систем [1, 2].

Практичні виклики сучасної промисловості включають необхідність підвищення ефективності виробництва, зниження енергоспоживання, екологізацію технологічних процесів та скорочення циклу розробки нових матеріалів. У цьому контексті цифровізація виробництва, впровадження

цифрових двійників та інтелектуальних систем керування стають ключовими інструментами оптимізації життєвого циклу текстильних матеріалів [3], [4].

Актуальність теми зумовлена експоненціальним зростанням наукових досліджень у сфері smart-textiles, де середній темп приросту публікацій становить близько 22% щорічно, що свідчить про високу динаміку розвитку та міждисциплінарний характер галузі [1]. Після 2020 року спостерігається суттєве посилення інтеграції технологій Industry 4.0, включаючи штучний інтелект, машинне навчання та цифрові двійники, у процеси проектування та виробництва функціональних матеріалів [5, 6]. Особливу роль відіграє концепція data-driven materials science, яка дозволяє здійснювати прогнозування властивостей матеріалів на основі великих масивів даних та чисельного моделювання, що

істотно підвищує точність інженерних рішень і скорочує час інноваційного циклу [3]. Таким чином, доцільність дослідження визначається необхідністю переходу від емпіричних методів до цифрово-інтегрованих підходів у матеріалознавстві.

У роботах [7–9] показано широке застосування наноматеріалів, зокрема оксидів металів і вуглецевих наноструктур, для функціоналізації та створення smart-текстильних систем. Паралельно цифрова трансформація текстильної галузі супроводжується впровадженням технологій Industry 4.0, штучного інтелекту та інтелектуальних виробничих систем [3, 5, 6]. Окремим напрямом є впровадження цифрових двійників у текстильне виробництво, що забезпечує підвищення ефективності процесів, зниження дефектності продукції та енергозбереження [3, 4]. Разом із тим, попри значний науковий прогрес, зберігається ряд невирішених проблем, серед яких: обмежена масштабованість лабораторних рішень до промислового рівня, недостатня довготривала стабільність функціональних покриттів, відсутність уніфікованих стандартів оцінювання smart-текстилю та недостатня інтеграція багаторівневого моделювання у виробничі цифрові платформи [1].

Таким чином, дана робота присвячена системному аналізу інноваційних і цифрових технологій у хімічній та текстильній промисловості з акцентом на роль комп'ютерного моделювання у створенні спеціальних текстильних матеріалів із заданими функціональними властивостями.

Постановка завдання. Метою статті є комплексний аналіз інноваційних і цифрових технологій у хімічній та текстильній промисловості та визначення їх впливу на процеси створення спеціальних текстильних матеріалів із прогнозованими функціональними властивостями.

Основними завданнями дослідження є:

1. Аналіз сучасних напрямів цифровізації текстильної та хімічної галузей;
2. Дослідження ролі штучного інтелекту та машинного навчання у прогнозуванні властивостей матеріалів;
3. Оцінка ефективності цифрових двійників у моделюванні текстильних систем;

4. Аналіз наноматеріалів та їх впливу на функціональні характеристики тканин;

5. Визначення перспектив розвитку smart-textiles у контексті Industry 4.0.

Результати досліджень та їх обговорення.

Результати бібліометричного аналізу публікацій Scopus. У межах виконаного дослідження здійснено бібліометричний аналіз наукових публікацій, індексованих у базі даних Scopus за період 2010–2025 рр., з метою ідентифікації ключових напрямів цифрової трансформації хімічної та текстильної промисловості. Бібліометричний пошук здійснювали в базі даних Scopus за публікаціями 2010–2025 рр. Пошукові запити формували за тематичними ключовими словами, що характеризують основні напрями цифровізації та інноваційного розвитку текстильного матеріалознавства. Пошук проводили за полями назви публікації, анотації та ключових слів (TITLE-ABS-KEY). До аналізу включали наукові статті, оглядові публікації та матеріали конференцій, тематично пов'язані з хімічною технологією, текстильними матеріалами, матеріалознавством і цифровими технологіями. Результати пошуку систематизували за роком публікації та тематичним пошуковим запитом. Із результатів виключали публікації, зміст яких за назвою, анотацією та ключовими словами не відповідав предметній області дослідження, а також дубльовані записи в межах кожного тематичного пошукового запиту. Перехресне дублювання публікацій між різними тематичними пошуковими запитом не усували, оскільки одиницею порівняльного аналізу були результати кожного окремого запиту; відповідно, розраховані частки характеризують структуру сукупності результатів пошуку за сформованими запитом, а не розподіл унікальних публікацій між взаємовиключними тематичними категоріями. Остаточний пошук та верифікацію бібліографічних записів проведено 20 травня 2026 року.

Для аналізу сформовано сім тематичних пошукових запитів: «materials for smart textiles», «chemical finishing of textiles», «nanomaterials in textile applications», «advanced textile materials», «digital

transformation of manufacturing», «Industry 4.0 in textile», «artificial intelligence in materials science», які сукупно охоплюють основні напрями розвитку цифрово орієнтованого матеріалознавства. Для забезпечення порівнянності результатів кожен тематичну фразу використовували як окремий пошуковий запит у полі TITLE-ABS-KEY з однаковими часовими та документальними обмеженнями. Отримані кількісні показники характеризують представленість публікацій за конкретними сформованими пошуковими запитом та не повинні інтерпретуватися як абсолютна оцінка обсягу відповідного наукового напрямку.

Аналіз часової динаміки публікацій після 2020 року виявив відмінності між

досліджуваними тематичними напрямками. Найбільш виражене зростання публікацій спостерігається за запитом «digital transformation of manufacturing», особливо у 2022-2025 рр. Для напрямку «materials for smart textiles» характерні відносно стабільні показники з окремими міжрічними коливаннями, тоді як за запитом «advanced textile materials» та «chemical finishing of textiles» після 2020 року простежується тенденція до зменшення кількості публікацій. Напрями «artificial intelligence in materials science», «Industry 4.0 in textile» та «nanomaterials in textile applications» характеризуються невеликими абсолютними значеннями, проте наприкінці досліджуваного періоду демонструють зростання публікаційної активності (рис. 1).

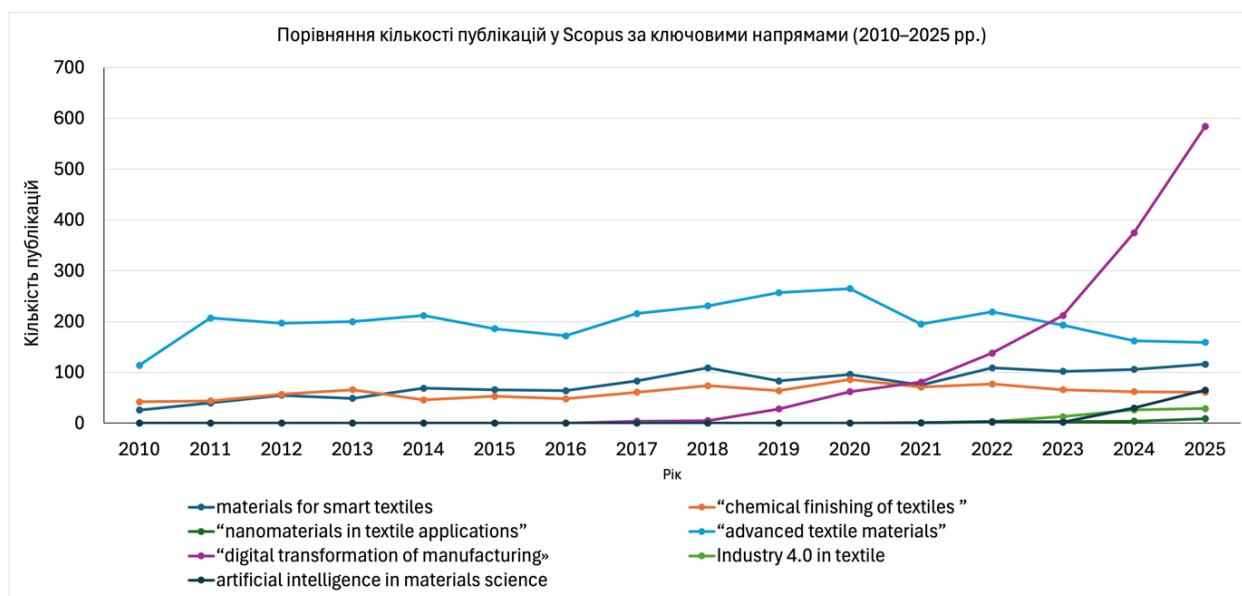


Рис. 1. Порівняння кількості публікацій за ключовими напрямками (2010–2025 рр.) у Scopus

Кількісна оцінка показала суттєву асиметрію розподілу публікацій між досліджуваними тематичними напрямками. Найбільшу кількість публікацій зафіксовано за пошуковим запитом «advanced textile materials» – 3185 публікацій, що становить 44,9% від сумарної кількості результатів за сімома тематичними пошуковими запитом. Другу позицію займає напрям «digital transformation of manufacturing» – 1489 публікацій (21,0%). Значну представленість також мають напрями «materials for smart textiles» – 1248 публікацій (17,6%) та

«chemical finishing of textiles» – 978 публікацій (13,8%), що свідчить про стійкий науковий інтерес до розроблення текстильних матеріалів нового покоління, функціоналізації текстильних систем та цифровізації виробничих процесів. Найменшу кількість публікацій зафіксовано за запитом «artificial intelligence in materials science» – 101 публікація (1,4%), «Industry 4.0 in textile» – 73 публікації (1,0%) та «nanomaterials in textile applications» – 19 публікацій (0,3%) (рис. 2).

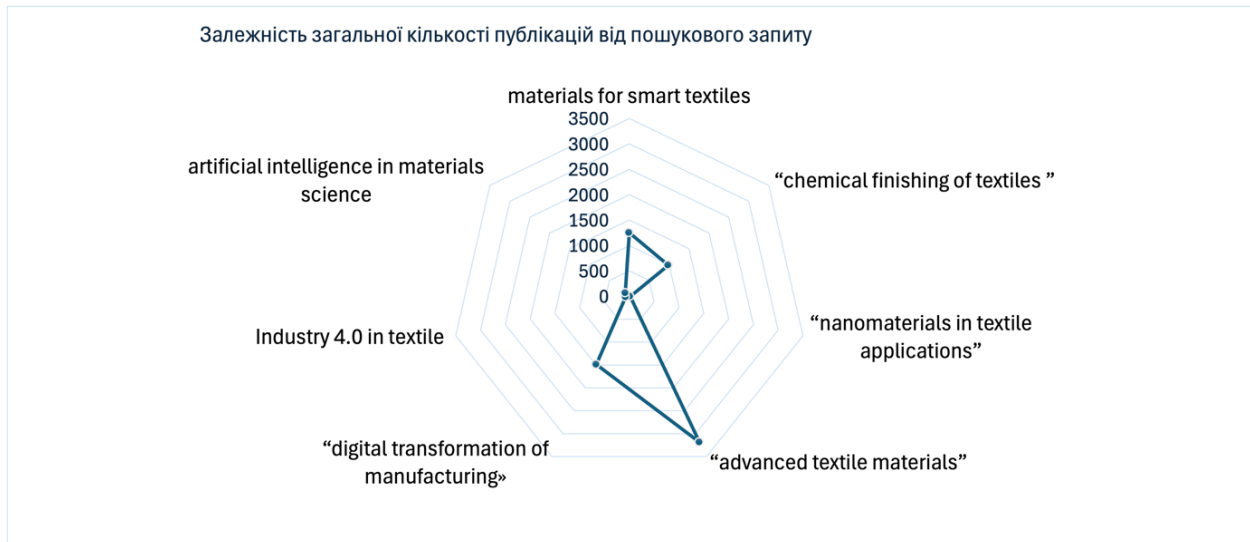


Рис. 2. Співвідношення кількості наукових публікацій за ключовими напрямками (2010–2025 рр.) за даними Scopus

Таблиця 1

Бібліометричний аналіз напрямів цифрової трансформації хімічної та текстильної промисловості (Scopus, 2010-2025 рр.)

№	Пошуковий запит	Кількість публікацій	Частка, %	Динаміка після 2020 р.	Наукова інтерпретація
1	advanced textile materials	3185	44,9	тенденція до зниження після 2020 р.	Домінування досліджень матеріалів нового покоління та функціональних текстильних систем
2	digital transformation of manufacturing	1489	21,0	стрімко зростаюча	Цифровізація виробничих процесів та інтеграція Industry 4.0
3	materials for smart textiles	1248	17,6	відносно стабільна, з міжрічними коливаннями	Розвиток багатофункціональних адаптивних текстильних систем
4	chemical finishing of textiles	978	13,8	помірна, з тенденцією до зниження	Перехід до керованих та екологічно орієнтованих хіміко-технологічних процесів
5	artificial intelligence in materials science	101	1,4	зростаюча наприкінці досліджуваного періоду	Формування напрямку прогностного матеріалознавства на основі штучного інтелекту
6	Industry 4.0 in textile	73	1,0	зростаюча наприкінці досліджуваного періоду	Рання стадія цифрової інтеграції у текстильній промисловості
7	nanomaterials in textile applications	19	0,3	зростаюча за низьких абсолютних значень	Перспективність подальшого розвитку нанофункціоналізації текстилю

Примітка. Частку результатів за кожним тематичним пошуковим запитом розраховано як відношення кількості результатів за відповідним запитом до сумарної кількості результатів за сімома тематичними запитами ($n = 7093$), помножене на 100 %. Значення округлено до одного десяткового знака.

Узагальнені результати бібліометричного аналізу досліджуваних напрямів цифрової трансформації хімічної та текстильної промисловості наведено в таблиці 1.

Контент-аналіз сучасних технологічних підходів. Окрім бібліометричного оцінювання публікаційної активності, у роботі проведено контент-аналіз відібраних наукових джерел з метою узагальнення сучасних технологічних підходів до створення та цифрового проєктування спеціальних текстильних матеріалів. Наведені нижче характеристики ефективності окремих технологій, функціональних матеріалів, методів машинного навчання та цифрового моделювання ґрунтуються на результатах опублікованих досліджень і не є безпосередніми результатами бібліометричного аналізу Scopus.

Аналіз структури smart-textiles підтверджує їх багатокомпонентну організацію, яка включає текстильну матрицю (волокна та тканини), функціональні модифікатори (наночастинки, полімерні покриття) та інтегровані електронні компоненти (сенсори, провідні шари). За даними літературних джерел [7–9], склад і вміст функціональних компонентів у smart-текстильних системах суттєво залежать від типу модифікатора, способу його введення та цільового призначення матеріалу.

Аналіз літературних джерел, присвячених хімічному оздобленню текстильних матеріалів, свідчить про розвиток технологій, спрямованих на зменшення ресурсоемності традиційних «мокрих» процесів. Серед перспективних підходів розглядають плазмове оброблення, ензиматичну функціоналізацію та контрольоване нанесення функціональних покриттів. У літературі повідомляється про можливість зменшення водо- та енергоспоживання порівняно з традиційними технологічними процесами [10].

За результатами контент-аналізу літературних джерел [7–9, 11] встановлено широке використання TiO_2 , ZnO , Ag та вуглецевих наноструктур для функціоналізації текстильних матеріалів. Їх застосування спрямоване на формування антимікробних, фотокаталітичних, гідрофобних та інших спеціальних властивостей.

Контент-аналіз літературних джерел свідчить про активне застосування методів машинного навчання для прогнозування фізико-хімічних і функціональних властивостей матеріалів [12]. Серед використовуваних підходів представлені регресійні алгоритми, нейронні мережі та ансамблеві моделі, які дають змогу встановлювати залежності між складом матеріалу, структурними характеристиками, технологічними параметрами та прогнозованими властивостями [2, 3, 12, 13]. Застосування таких підходів потенційно сприяє зменшенню обсягу емпіричних досліджень та прискоренню процесу проєктування матеріалів.

Окремим напрямом цифрової трансформації є використання цифрових двійників. За даними літературних джерел [3, 4, 14], цифрові двійники розглядаються як інструмент інтеграції даних про матеріал, технологічний процес і експлуатаційні характеристики у цифровому середовищі. Такий підхід створює можливості для моделювання поведінки системи, прогнозування її характеристик та оптимізації технологічних параметрів ще на етапі проєктування. Для текстильної галузі перспективним є застосування цифрових двійників для моделювання технологічних процесів, контролю якості та проєктування функціональних текстильних систем.

У сучасних підходах до цифрового проєктування CAD/CAE- та FEM-інструменти можуть використовуватися для геометричного й чисельного моделювання текстильних структур та оцінювання впливу структурних параметрів на їх прогнозовані характеристики [5, 15].

Окремим напрямом розвитку текстильної промисловості є впровадження принципів циркулярної економіки, зокрема повторне використання матеріалів, перероблення полімерних волокон та зменшення споживання первинної сировини [16]. Для поліестерних і поліамідних матеріалів розглядаються механічні та хімічні способи рециклінгу, ефективність яких залежить від типу полімеру, складу вихідної сировини та технологічних умов процесу.

Практичне значення цифрового проєктування особливо проявляється при створенні спеціальних текстильних матеріалів, для

яких необхідне одночасне забезпечення декількох функціональних характеристик. Для матеріалів захисного призначення цифрове моделювання може використовуватися для прогнозування механічних, термічних і бар'єрних властивостей текстильних структур та оптимізації їх багатошарової будови. У медичному текстилі перспективним є поєднання цифрового проєктування з сенсорними системами, функціональними покриттями та моделюванням взаємодії матеріалу з умовами експлуатації. Для функціональних smart-текстильних систем цифрові технології забезпечують можливість оптимізації електропровідності, тепло- і масообміну, сенсорної чутливості та інших заданих характеристик. Поєднання CAD/CAE-проєктування, методів машинного навчання та цифрових двійників створює передумови для переходу від емпіричного підбору структури матеріалу до цілеспрямованого прогнозування його властивостей ще на етапі розроблення. Таким чином, результати дослідження підтверджують системний характер цифрової трансформації хімічної та текстильної промисловості, яка характеризується переходом до прогнозної, модельно-орієнтованої та інтелектуалізованої парадигми створення функціональних текстильних матеріалів.

Висновки.

1. За результатами аналізу сучасних напрямів цифровізації текстильної та хімічної промисловості встановлено, що найбільшу частку в сумарній кількості результатів за досліджуваними тематичними запитамі становлять «advanced textile materials» – 44,9% та «digital transformation of manufacturing» – 21,0%. Водночас аналіз часової динаміки показав, що найбільш виражене зростання після 2020 року характерне для напряму цифрової трансформації виробництва, що відображає посилення ролі

цифрових і data-driven підходів у сучасному матеріалознавстві.

2. За результатами контент-аналізу літературних джерел встановлено, що методи машинного навчання, зокрема регресійні алгоритми, нейронні мережі та ансамблеві моделі, є перспективними інструментами прогнозування фізико-хімічних і функціональних властивостей матеріалів. Їх застосування дає змогу встановлювати взаємозв'язки між складом, структурою, технологічними параметрами та прогнозованими характеристиками матеріалів і може сприяти скороченню обсягу емпіричних досліджень.

3. Аналіз літературних даних показав, що цифрові двійники є перспективним інструментом інтегрованого моделювання матеріалів і технологічних процесів. Їх використання забезпечує можливість поєднання даних про структуру матеріалу, параметри виробництва та прогнозовані експлуатаційні характеристики в єдиному цифровому середовищі, що створює передумови для оптимізації проєктування текстильних систем.

4. Контент-аналіз досліджень із нанofункціоналізації текстильних матеріалів підтвердив широке застосування TiO_2 , ZnO , Ag та вуглецевих наноструктур для формування антимікробних, фотокаталітичних, гідрофобних та інших спеціальних властивостей. Ефективність наномодифікації визначається природою модифікатора, способом його нанесення, структурою текстильної основи та умовами експлуатації матеріалу.

5. Щодо перспектив розвитку smart-textiles у контексті Industry 4.0 встановлено, що ці матеріали формуються як багатокомпонентні системи, які поєднують текстильну основу, функціональні добавки та електронні компоненти. Найбільш перспективними сферами застосування є медицина, військова галузь, спорт та промисловий моніторинг.

Література

1. Sajovic I., Kert M., Boh Podgornik B. Smart Textiles: A Review and Bibliometric Mapping. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, Issue 18. Art. 10489. DOI: <https://doi.org/10.3390/app131810489>.
2. Wang Z., Jiang Q., Chen C., Tian M. The intellectual base, knowledge evolution, and frontiers of

References

1. Sajovic, I., Kert, M., & Boh Podgornik, B. (2023). Smart Textiles: A Review and Bibliometric Mapping. *Applied Sciences*, 13(18), 10489. <https://doi.org/10.3390/app131810489>.
2. Wang, Z., Jiang, Q., Chen, C., & Tian, M. (2025). The intellectual base, knowledge evolution,

research on smart clothing: A visual analysis of research trajectory. *Textile Research Journal*. 2025. OnlineFirst. DOI:

<https://doi.org/10.1177/00405175251379803>.

3. Kaur S., Singh P., Cheema N. K., Ray N. C., Singh S. AI-Driven Digital Twins and Data-Driven Smart Manufacturing in the Textile Industry: Integrating Domain Expertise with Intelligent Systems. *Proceedings of the 1st IEEE Uttar Pradesh Section Women in Engineering International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPWIECON)*. 2025. P. 71–78. DOI: <https://doi.org/10.1109/UPWIECON67212.2025.11390143>.

4. Bongomin O., Mwape M. C., Mpofo N. S., Bahunde B. K., Kidega R., Mpungu I. L., Tumusiime G., Owino C. A., Goussongtogue Y. M., Yemane A., Kyokunzire P., Malanda C., Komakech J., Tigalana D., Gumisiriza O., Ngulube G. Digital twin technology advancing Industry 4.0 and Industry 5.0 across sectors. *Results in Engineering*. 2025. Vol. 26. Art. 105583. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105583>.

5. Glogar M., Petrak S., Mahnić Naglić M. Digital Technologies in the Sustainable Design and Development of Textiles and Clothing-A Literature Review. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, Issue 4. Art. 1371. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17041371>.

6. Deepthi B., Bansal V. Industry 4.0 in Textile and Apparel Industry: A Systematic Literature Review and Bibliometric Analysis of Global Research Trends. *Vision*. 2024. Vol. 28, Issue 2. P. 157–170. DOI: <https://doi.org/10.1177/09722629221130233>.

7. Krifa M., Prichard C. Nanotechnology in textile and apparel research – an overview of technologies and processes. *The Journal of The Textile Institute*. 2020. Vol. 111, Issue 12. P. 1778–1793. DOI: <https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1721696>.

8. Jadoun S., Verma A., Arif R. Modification of Textiles via Nanomaterials and Their Applications. In: *Frontiers of Textile Materials: Polymers, Nanomaterials, Enzymes, and Advanced Modification Techniques*. 2020. P. 135–152. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119620396.ch6>.

9. Singh S., Kamble Z., Neje G. Types of Nanomaterials Used in Textile Finishing. In: Bairagi S., Ahmed S., Ali S. W. (eds.). *Nanotechnology in Textile Finishing: Advancements and Applications*. Springer, Singapore, 2024. P. 23–48. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-2696-7_2.

10. Islam M. T., Asaduzzaman S. Environmentally-Friendly Textile Finishing. In: Shabbir M. (Ed.). *Textiles and Clothing*. 2019. P. 101–129. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119526599.ch6>.

11. Nam S., Chavez S. E., Hillyer M. B., Condon B. D., Shen H., Sun L. Interior vs. exterior incorporation of silver nanoparticles in cotton fiber and washing durability. *AATCC Journal of Research*. 2021. Vol. 8, Issue 6. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.14504/ajr.8.6.1>.

12. Huang G., Guo Y., Chen Y., Nie Z. Application of Machine Learning in Material Synthesis and Property Prediction. *Materials*. 2023. Vol. 16, Issue 17. Art. 5977. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16175977>.

and frontiers of research on smart clothing: A visual analysis of research trajectory. *Textile Research Journal*. OnlineFirst. DOI:

<https://doi.org/10.1177/00405175251379803>.

3. Kaur, S., Singh, P., Cheema, N. K., Ray, N. C., & Singh, S. (2025). AI-Driven Digital Twins and Data-Driven Smart Manufacturing in the Textile Industry: Integrating Domain Expertise with Intelligent Systems. *Proceedings of the 1st IEEE Uttar Pradesh Section Women in Engineering International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPWIECON)* (pp. 71–78). <https://doi.org/10.1109/UPWIECON67212.2025.11390143>.

4. Bongomin, O., Mwape, M. C., Mpofo, N. S., Bahunde, B. K., Kidega, R., Mpungu, I. L., Tumusiime, G., Owino, C. A., Goussongtogue, Y. M., Yemane, A., Kyokunzire, P., Malanda, C., Komakech, J., Tigalana, D., Gumisiriza, O., & Ngulube, G. (2025). Digital twin technology advancing Industry 4.0 and Industry 5.0 across sectors. *Results in Engineering*, (26), 105583. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105583>.

5. Glogar, M., Petrak, S., & Mahnić Naglić, M. (2025). Digital Technologies in the Sustainable Design and Development of Textiles and Clothing-A Literature Review. *Sustainability*, 17(4), 1371. <https://doi.org/10.3390/su17041371>.

6. Deepthi, B., & Bansal, V. (2024). Industry 4.0 in Textile and Apparel Industry: A Systematic Literature Review and Bibliometric Analysis of Global Research Trends. *Vision*, 28(2), 157–170. <https://doi.org/10.1177/09722629221130233>.

7. Krifa, M., & Prichard, C. (2020). Nanotechnology in textile and apparel research – an overview of technologies and processes. *The Journal of The Textile Institute*, 111(12), 1778–1793. <https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1721696>.

8. Jadoun, S., Verma, A., & Arif, R. (2020). Modification of Textiles via Nanomaterials and Their Applications. In: *Frontiers of Textile Materials: Polymers, Nanomaterials, Enzymes, and Advanced Modification Techniques* (pp. 135–152). <https://doi.org/10.1002/9781119620396.ch6>.

9. Singh, S., Kamble, Z., & Neje, G. (2024). Types of Nanomaterials Used in Textile Finishing. In: Bairagi S., Ahmed S., Ali S. W. (eds.). *Nanotechnology in Textile Finishing: Advancements and Applications* (pp. 23–48.). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-2696-7_2.

10. Islam, M. T., & Asaduzzaman, S. (2019). Environmentally-Friendly Textile Finishing. In: Shabbir, M. (Ed.), *Textiles and Clothing* (pp. 101–129). <https://doi.org/10.1002/9781119526599.ch6>

11. Nam, S., Chavez, S. E., Hillyer, M. B., Condon, B. D., Shen, H., & Sun, L. (2021). Interior vs. exterior incorporation of silver nanoparticles in cotton fiber and washing durability. *AATCC Journal of Research*, 8(6), 1–12. <https://doi.org/10.14504/ajr.8.6.1>.

12. Huang, G., Guo, Y., Chen, Y., & Nie, Z. (2023). Application of Machine Learning in Material Synthesis and Property Prediction. *Materials*, 16(17), 5977. <https://doi.org/10.3390/ma16175977>.

13. Yao Y., Hu J., Liu F. Intelligent manufacturing defect detection based on deep learning framework. In: *Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Networks, Multimedia and Information Technology (NMITCON)*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1109/NMITCON65824.2025.11187858>.

14. Bi Y., Pan L., Cao L. Research status and development trends of digital twin technology in apparel production: a review. *The Journal of The Textile Institute*. 2025. Vol. 116, Issue 12. P. 3318–3341. DOI: <https://doi.org/10.1080/00405000.2025.2496840>.

15. Li Q., Gao Y. Application of finite element method in textile process: a review. *The Journal of The Textile Institute*. 2024. Vol. 115, Issue 12. P. 2444–2455. <https://doi.org/10.1080/00405000.2023.2293321>.

16. Butturi M. A., Neri A., Mercalli F., Gamberini R. Sustainability-Oriented Innovation in the Textile Manufacturing Industry: Pre-Consumer Waste Recovery and Circular Patterns. *Environments*. 2025. Vol. 12, Issue 3. Art. 82. DOI: <https://doi.org/10.3390/environments12030082>.

13. Yao, Y., Hu, J., & Liu, F. (2025). Intelligent manufacturing defect detection based on deep learning framework. In: *Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Networks, Multimedia and Information Technology (NMITCON)*. <https://doi.org/10.1109/NMITCON65824.2025.11187858>.

14. Bi, Y., Pan, L., & Cao, L. (2025). Research status and development trends of digital twin technology in apparel production: a review. *The Journal of The Textile Institute*, 116(12), 3318–3341. <https://doi.org/10.1080/00405000.2025.2496840>.

15. Li, Q., & Gao, Y. (2024). Application of finite element method in textile process: a review. *The Journal of The Textile Institute*, 115(12), 2444–2455. <https://doi.org/10.1080/00405000.2023.2293321>.

16. Butturi, M. A., Neri, A., Mercalli, F., & Gamberini, R. (2025). Sustainability-Oriented Innovation in the Textile Manufacturing Industry: Pre-Consumer Waste Recovery and Circular Patterns. *Environments*, 12(3), 82. <https://doi.org/10.3390/environments12030082>.

Стаття надійшла до редакції /
Received 19.08.2026Прийнята до друку /
Accepted 14.09.2026Опубліковано /
Published 30.09.2026УДК 677.027.625.14
<https://doi.org/10.30857/2706-5898.2026.3.2>**АРАБУЛІ СВІТЛАНА**

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

e-mail: arabuli.si@kmutd.edu.ua<https://orcid.org/0000-0003-1049-8255>**АРАБУЛІ АРСЕНІЙ**

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

e-mail: arabuli.a@kmutd.edu.ua<https://orcid.org/0000-0002-2583-4998>**СВИДЛО ОЛЕКСАНДР**

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

e-mail: svydlo.os@kmutd.edu.ua**ПОКРАЩЕННЯ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ ЗМІШАНИХ ТКАНИН:
МОДИФІКАЦІЯ, ВЛАСТИВОСТІ ТА КОМФОРТНІСТЬ**

Мета. В останні роки помітно зросла дія ультрафіолетового випромінювання на біологічні об'єкти. Тривале, неконтрольоване перебування людини під впливом ультрафіолетових променів може мати низку негативних наслідків для її здоров'я. В свою чергу, текстильні матеріали можуть стати ефективним захистом шкіри людини від негативної дії шкідливого УФ випромінювання.

Методика. Застосовано метод модифікації металевими наночастинками, що передбачає хімічне відновлення іонів металів до їх металевої форми безпосередньо в структурі текстильного матеріалу та на його поверхні. Дослідження здійснювали використовуючи сульфат міді та глюкозу. Оптичні спектри поглинання досліджуваних зразків змішаних тканин вимірювали за допомогою спектрофотометра Edinburgh Instruments DS5 (Велика Британія) з визначенням коефіцієнта захисту від ультрафіолетового випромінювання (UPF). Оптичні властивості немодифікованих та модифікованих полотен оцінювали в кольоровому просторі Commission Internationale de l'Eclairage $L^*a^*b^*$ (CIELab) за допомогою колориметра PCE-CSM 25 (PCE Instruments, Німеччина). Комфортність текстильних матеріалів оцінювали на приладах «PERMETEST» та «ALAMBETA».

Результати. Метод модифікації текстильних матеріалів за допомогою наночастинок металів, який здійснюється шляхом просочення цих матеріалів у розчинах металевих солей з подальшим відновленням іонів металів у їх структурі та на поверхні, знайшов широке застосування для роботи з пористими матеріалами різноманітної хімічної природи. Проведені дослідження беззаперечно довели ефективність використання змішаних тканин, таких як комбінація бавовни та полієфіру, для створення текстильного екрану, що забезпечує захист від ультрафіолетового випромінювання. Отримані в результаті модифікації матеріали мають UPF 40. Це відповідає вимогам стандарту AS/NZS 4399:1996 і свідчить про надання «відмінного захисту від ультрафіолетового випромінювання», що можна порівняти з найкращими світовими досягненнями у сфері текстилю, призначеного для захисту від ультрафіолетових променів. Модифіковані тканини не лише демонструють високу екрануючу здатність проти УФ випромінювання, але також вирізняються високими паропроникними та теплофізичними властивостями, що значно підвищує комфорт їх використання у виробках, призначених для літнього сезону.

Наукова новизна. Доведено можливість та ефективність використання методу модифікації текстильних матеріалів наночастинками міді в розчині сульфату міді з подальшим відновленням іонів міді глюкозою у структурі та на поверхні змішаних текстильного матеріалу. Метод є ефективним для пористих матеріалів будь-якої хімічної природи (натуральні та синтетичні волокна).

Практична значимість. Модифіковані тканини одночасно забезпечують необхідний рівень захисту від шкідливої дії УФ випромінювання та комфортність виробів.

Ключові слова: синтетичні волокна; бавовна; змішана тканина; текстиль; захист; електромагнітне випромінювання; УФ випромінювання; модифікація; оксиди металів; наночастинки міді; паропроникність; теплофізичні властивості; комфортність.

IMPROVEMENT OF EMR PROTECTION OF THE BLENDED FABRICS: MODIFICATION, PROPERTIES AND COMFORT

ARABULI SVITLANA, ARABULI ARSENI, SVYDLO OLEKSANDR

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

Purpose. In recent years, the effect of ultraviolet radiation on biological objects has noticeably increased. Prolonged, uncontrolled exposure of a person to ultraviolet rays can have a number of negative consequences for his health. In turn, textile materials can become an effective protection of human skin from the negative effects of harmful UV radiation.

Methodology. The method of modification with metal nanoparticles was applied, which involves the chemical reduction of metal ions to their metallic form directly in the structure of the textile material and on its surface. The research was carried out using copper sulfate and glucose. The optical absorption spectra of the studied samples of mixed fabrics were measured using an Edinburgh Instruments DS5 spectrophotometer (Great Britain) with determination of the ultraviolet protection factor (UPF). The optical properties of unmodified and modified fabrics were evaluated in the Commission Internationale de l'Eclairage $L^*a^*b^*$ (CIELab) color space using a PCE-CSM 25 colorimeter (PCE Instruments, Germany). The comfort of textile materials was evaluated using the PERMETEST and ALAMBETA devices.

Results. The method of modifying textile materials with metal nanoparticles, which is carried out by impregnating these materials in solutions of metal salts with subsequent reduction of metal ions in their structure and on the surface, has found wide application for working with porous materials of various chemical nature. The conducted studies have proven beyond doubt the effectiveness of using mixed fabrics, such as a combination of cotton and polyester, to create a textile screen that provides protection against ultraviolet radiation. The materials obtained as a result of the modification have UPF 40. This meets the requirements of the AS/NZS 4399:1996 standard and indicates the provision of "excellent protection against ultraviolet radiation", which is comparable to the best world achievements in the field of textiles designed to protect against ultraviolet rays. Modified fabrics not only demonstrate high shielding ability against UV radiation, but also have high vapor permeability and thermophysical properties, which significantly increases the comfort of their use in products intended for the summer season.

Scientific novelty. The possibility and effectiveness of using the method of modifying textile materials with copper nanoparticles in a copper sulfate solution with subsequent reduction of copper ions with glucose in the structure and on the surface of the mixed textile material has been proven. The method is effective for porous materials of any chemical nature (natural and synthetic fibers).

Practical value. Modified fabrics simultaneously provide the necessary level of protection against the harmful effects of UV radiation and the comfort of products.

Keywords: synthetic fibers; cotton; blended fabric; textiles; protection; electromagnetic radiation; UV radiation; modification; metal oxides; copper nanoparticles; vapor permeability; thermophysical properties; comfort.

Вступ. Ультрафіолетове (УФ) випромінювання є різновидом електромагнітного випромінювання, що переносить енергію електромагнітних коливань від джерела випромінювання до навколишнього середовища [1]. УФ випромінювання включає наступні області, що мають різну природу і різну біологічну дію:

- УФ–А від 315 до 400 нм;
- УФ–В від 280 до 315 нм;
- УФ–С від 100 до 280 нм.

Вплив випромінювання на живі організми залежить від його довжини хвилі, що є важливим фактором у визначенні біологічного ефекту. Енергія випромінювання має обернено пропорційну залежність від

довжини хвилі. Це означає, що зі зменшенням довжини хвилі його енергія зростає, що впливає на потенціал випромінювання щодо шкідливості. Доведено, що УФ-В проявляє надзвичайну руйнівну силу, викликає сонячні опіки і при тривалому і систематичному опроміненню може призвести до захворювань шкіри людини [2, 3]. Одним з ефективних засобів захисту шкіри є носіння одягу, виготовленого з екрануючого текстильного матеріалу (ТМ) щодо дії УФ випромінювання.

УФ випромінювання, що проходить через текстиль, складається з хвиль, які безпосередньо проходять крізь пори тканини, і розсіяних хвиль, які взаємодіють із структурними елементами тканини [4]. Показник, який характеризує здатність текстилю блокувати УФ випромінювання у діапазоні УФ-А і УФ-В є, так званий, коефіцієнт захисту від УФ випромінювання (UPF) [5]:

$$UPF = \frac{\sum_{\lambda=280}^{400} E(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=280}^{400} E(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot \Delta\lambda} \quad (1)$$

де $E(\lambda)$ – сонячна радіація, $Вт \cdot м^{-2} \cdot нм^{-1}$;

$\varepsilon(\lambda)$ – відносна еритемна спектральна ефективність;

$T(\lambda)$ – спектральна проникність при довжині хвилі λ ;

$\Delta\lambda$ – інтервал довжини хвиль, $нм$.

Вище значення коефіцієнту UPF вказують на більш ефективне блокування УФ випромінювання [6]. Згідно стандарту [7], тільки текстиль зі значенням UPF від 40 до 50+ може бути класифікований і віднесений до текстилю з відмінним захистом від УФ випромінювання. Виходячи з цього критерію, всі ТМ з рейтингом UPF 10, класифікуються як непридатні для верхнього одягу для носіння на відкритому повітрі у сонячну погоду.

За даними попередніх досліджень [8, 9] при створенні ТМ з відмінним захистом від УФ випромінювання слід враховувати наступні фактори:

- хімічний склад волокон;
- щільність переплетення;
- колір;
- розтягнення;

- вологість;
- оздоблення.

Склад тканини є важливим фактором у визначенні ступеня захисту від ультрафіолету, оскільки волокна можуть мати різні властивості щодо поглинання УФ випромінювання. Авторами в роботі [10, 11] було виявлено, що волокна з великою спряженою ароматичною полімерною системою є більш ефективними в блокуванні УФ-випромінювання. Гідрофобні волокна (поліефір) мають високий захисний фактор від пропускання УФ-променів [12]. Бавовна пропускає менше, ніж інші натуральні волокна, тоді як поліефірні волокна здатні до більш високого поглинання в УФ-В діапазоні [13]. Поліефір містить бензольні кільця в полімерних ланцюгах, і цей факт може пояснити підвищену здатність до поглинання УФ випромінювання [14, 15]. Модифікація поліефірної тканини наночастинками цеоліту призводить до покращення захисту від УФ. Наночастинки натурального цеоліту, нанесені на ТМ, розсіюють хвилі світла електромагнітного спектру, що призводить до посиленого захисту від УФ [16].

Однак, слід відмітити, що одяг з синтетичних (поліефірних) волокон не вважається комфортним для носіння, особливо в літній період [17]. Одним з ефективних шляхів підвищення комфортності поліефірних волокон, є створення змішаних тканин. Змішування поліефірних та бавовняних волокон в тканині забезпечить значно кращий захист від ультрафіолету, у порівнянні з бавовняними, та одночасно підвищить комфортність одягу, який носять у теплу погоду [18].

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження впливу модифікації змішаних тканин на їх здатність екранувати електромагнітне випромінювання ультрафіолетового спектру з одночасним забезпеченням високого рівня комфортності.

Матеріали та методи дослідження.

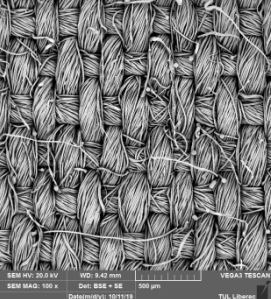
Як вихідні немодифіковані ТМ були обрані 2 вибілені змішані напівсинтетичні тканини з рівним вмістом бавовняних та поліефірних (ПЕ) волокон (50/50). Тканини відрізняються розташуванням ПЕ волокон в структурі, а саме: у зразка №1 ПЕ волокна змішані з бавовняними і розташовані в обох

системах (основа і уток); у зразка №2 волокна розділені по системах ниток (ПЕ – в системі основних ниток; бавовняні – в

системі утокових ниток). Структурні характеристики вихідних немодифікованих ТМ наведені в табл.1.

Таблиця 1

Структурні характеристики вихідних немодифікованих ТМ

Зразок ТМ	Структура ТМ (SEM зі збільшенням $\times 100$)	Вміст складників сировинного складу, [%]	Поверхнева густина, [г/м ²]	Товщина, [мм]
№1		Бавовна – 50 ПЕ – 50	105	0,32
№2		Бавовна – 50 ПЕ – 50	116	0,33

Мікроскопічні дослідження немодифікованих та модифікованих ТМ проводились за допомогою електронного скануючого мікроскопу *Tescan Vega*.

Характеристики оптичних властивостей немодифікованих та модифікованих ТМ оцінювались в кольоровому просторі Commission Internationale de l'Eclairage $L^*a^*b^*$ (CIE Lab) [19] за допомогою колориметра PCE-CSM 25 (PCE Instruments, Німеччина) при випромінюванні D-65/10. Система CIE Lab – це кольоровий простір хроматичних значень, що дозволяє вимірювати значення та насиченість за трьома координатами (рис. 1):

– L^* – насиченість білого кольору, що вимірюється від чорного ($L^* = 0$) до білого ($L^* = 100$);

– a^* – колір у координатах червоного ($a^* > 0$) та зеленого ($a^* < 0$);

– b^* – колір у координатах жовтого ($b^* > 0$) та синього ($b^* < 0$).

Диференційований аналіз загального кольорного розходження немодифікованих та модифікованих ТМ, у системі CIE Lab проводився за колориметричними показниками:

– хроматичність (насиченість) кольору:

$$C = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2};$$

– відтінок кольору (колірний тон): $H = \arctg(a^*/b^*)$;

– світлота: $L^* = 25 \left[100(y/y_0)^{1/3} \right] - 16$;

– кольорова різниця (різниця кольорового тону): $\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$.

Коефіцієнт захисту від ультрафіолету (UPF) немодифікованих та модифікованих ТМ оцінювався на спектрофотометрі Edinburgh instruments DS5 (Edinburgh Instruments, Велика Британія) відповідно до стандарту [7].

Комфортність немодифікованих та модифікованих ТМ оцінювались на приладі «PERMETEST» [20] та «ALAMBETA» [21] за показниками:

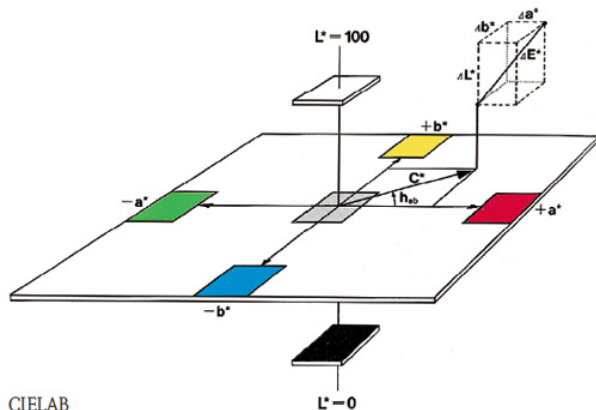
– відносна паропроникність – P , %;

– опір потоку водяної пари – R_{et} , м²·Па/Вт;

– тепловий опір – R , Вт⁻¹·К·м²;

– коефіцієнт теплопровідності – λ , Вт·м⁻¹·К⁻¹;

- коефіцієнт температуропровідності – a , $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$;
- коефіцієнт теплового поглинання – b , $\text{Вт} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$.

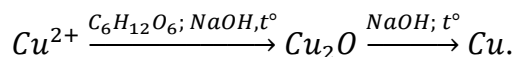


Джерело: [19].

Рис. 1. Тривимірна система CIELab

Результати досліджень.

Модифікація наночастинками міді. Для модифікації ТМ використано метод модифікації наночастинками металів, який полягає у хімічному відновленні іонів металів до металів безпосередньо у структурі ТМ та на його поверхні, описаний в роботі [22]. Дослідження проведені з сульфатом міді. Послідовність стадій процесу відновлення сульфату міді глюкозою можна представити у вигляді схеми:



Зовнішній вигляд модифікованих ТМ зображений на рис. 2.

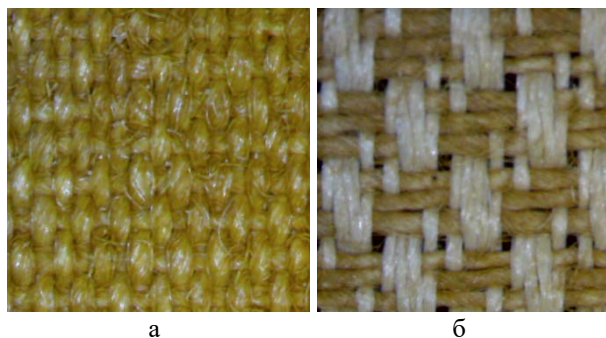


Рис. 2. Зовнішній вигляд модифікованих ТМ:
а – зразок №1+Cu; б – зразок №2+Cu

Морфологічні зміни в результаті модифікації змішаних тканин досліджували за допомогою скануючої електронної

мікроскопії (СЕМ) *Tescan Vega*. На рис. 3 та рис. 4 показано морфологічні зміни поверхні змішаних тканин після обробки сульфатом міді з відновленням глюкозою. При великому збільшенні на поверхні волокна зразка №1 (рис. 3) спостерігається достатньо рівномірно розподілене покриття, на волокнах обох систем (основи та утку) можна помітити наявність частинок міді. Колір тканини є рівномірним (рис. 2, а). У випадку зі зразком №2, в якому волокна розділені по системах ниток (ПЕ – в системі основних ниток; бавовняні – в системі уткових ниток) спостерігається нерівномірність розташування часток міді. Кількість часток міді на основних ПЕ нитках є меншою, ніж на уткових бавовняних нитках, що підтверджується електронною мікроскопією та кольором тканини (рис. 2, б).

Оптичні властивості. Мірою якості модифікації ТМ та їх естетичності є кількісна оцінка кольору дослідних разків текстилю з використанням системи CIELab. В системі CIELab любий колір визначається світлотою (L^*) та хроматичними компонентами: параметром a^* , який змінюється в діапазоні від зеленого до червоного, і параметром b^* , який змінюється в діапазоні від синього до жовтого. Кольорові характеристики вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ наведені в табл. 2.

З експериментальних даних встановлено, що для обох зразків ТМ №1 та №2 колір за величинами компонент a^* і b^* характеризується як червоно-жовтий. В свою чергу, слід відмітити, що відношення a^*/b^* , яке характеризує основний колірний тон (Н) є суттєво різним для вихідних полотен. Для зразка ТМ №1 $a^*=0,45$ і $b^*=0,24$, їх співвідношення характеризує колір як червоний з жовтим відтінком. Для зразка ТМ №2 $a^*=0,30$ і $b^*=1,53$ і відношення a^*/b^* вказує на переважно жовтий колір з червоним відтінком, внесок жовтого кольору у 5,1 рази більший. Параметр L^* для обох зразків ТМ №1 та №2 знаходиться в межах від 93,27 до 94,21, що за значенням наближається до 100, і вказує на насичений білий колір вихідних полотен.

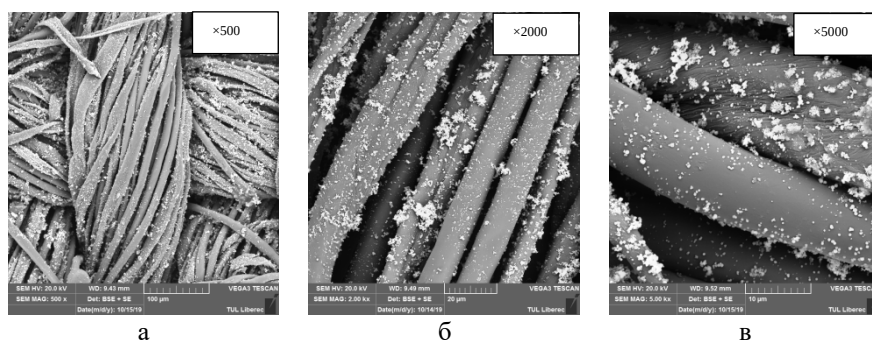


Рис. 3. Структура модифікованого ТМ – зразок №1+Cu:
а – SEM $\times 500$; б – SEM $\times 2000$; в – SEM $\times 5000$

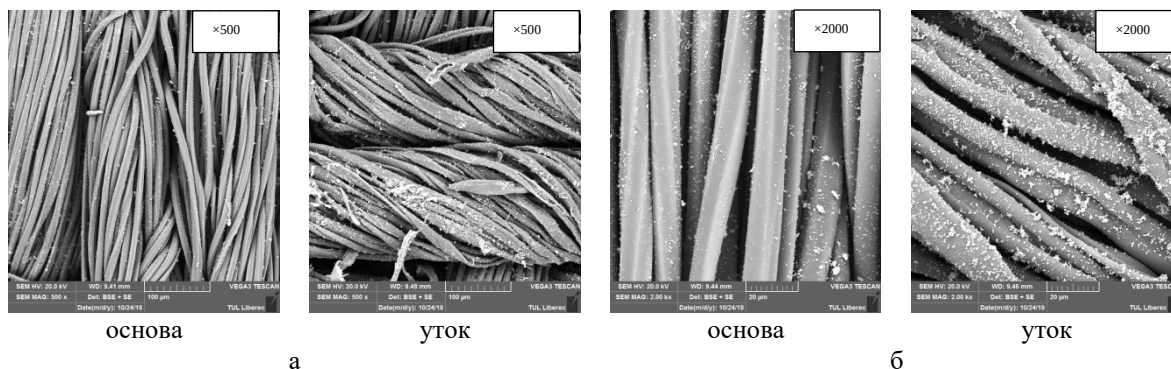


Рис. 4. Структура модифікованого ТМ – зразок №2+Cu:
а – SEM $\times 500$; б – SEM $\times 2000$

Таблиця 2

Кольорові характеристики вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ
(Система CIELab)

Параметр	Вихідний немодифікований ТМ №1	Модифікований ТМ №1+Cu	Вихідний немодифікований ТМ №2	Модифікований ТМ №2+Cu
Світлота, L^*	93,27	53,06 $\Delta=-40,21$	94,21	67,81 $\Delta=-26,39$
Зелено-червона компонента кольору, a^*	0,45	18,53 $\Delta=18,07$	0,30	13,15 $\Delta=12,85$
Синьо-жовта компонента кольору, b^*	0,24	40,35 $\Delta=40,10$	1,53	34,80 $\Delta=33,27$
Насичиність, C^*	0,51	44,40 $\Delta=43,88$	1,56	37,20 $\Delta=35,65$
Колірний тон, H^*	28,13	65,33 $\Delta=3,05$	78,90	69,30 $\Delta=-1,27$
Кольорова різниця, ΔE		59,60		44,37

В свою чергу, модифікація вихідних відбілених полотен призвела до значної зміни в кольорах одержаних полотен. Так, зміна параметру L^* , розрахована за системою CIELab, наведена на рис.5. Як видно з рисунку, модифікація полотен призводить до значного потемніння зразків ТМ. Слід відмітити, що потемніння зразка №1 є більш суттєвим, у порівнянні зі зразком №2, що корелює з даними аналізу електронної мікроскопії структури модифікованих полотен №1+Cu і №2+Cu.

В системі CIELab визначальним є значення двох кольорових компонент: зелено-червоної та синьо-жовтої, зміни яких для зразків ТМ після модифікації наведені в табл. 2. Як видно з таблиці 2, для обох пар зразків спостерігається значне збільшення кольорових компонент, яке обумовлене утворенням наночастинок міді у структурі та на поверхні ТМ (рис. 3 та рис. 4).

Модифікація зразка ТМ #1 призводить до збільшення зелено-червоної компоненти (a^*) у бік збільшення частки червоної

складової кольору, при цьому значення синьо-жовтої компоненти (b^*) – у бік значного збільшення частки жовтої складової кольору. Для зразка ТМ №1+Cu $a^*=18,53$ і $b^*=40,35$, їх співвідношення характеризує колір як жовтий з червоним відтінком, саме тому, для цього зразка спостерігається зменшення L^* . Дослідження зміни насиченості (хроматичності) S^* зразка показали, що відбувається збільшення хроматичності з 0,51 (не модифікований ТМ) до 44,40, що вказує у поєднанні зі зменшенням L^* та збільшенням значень кольорових компонент (a^* і b^*) на пожовтіння зразка, яке спостерігається візуально (рис. 2, а).

Модифікація зразка ТМ №2 призводить до збільшення зелено-червоної компоненти (a^*) у бік збільшення частки червоної складової кольору, при цьому значення синьо-жовтої компоненти (b^*) – у бік значного збільшення частки жовтої складової кольору. Для зразка ТМ №2+Cu $a^*=13,15$ і $b^*=34,80$, їх співвідношення a^*/b^* вказує на переважно жовтий колір з червоним відтінком, внесок жовтого кольору у 2,5 рази більший, при цьому $\Delta H^*=-1,27$ вказує на зміщення кольору у бік зеленого. Дослідження зміни насиченості (хроматичності) S^* зразка показали, що відбувається збільшення хроматичності з 1,56 (не модифікований ТМ) до 37,20, що підтверджується візуальними спостереженнями (рис.2, б).

Найбільш повну інформацію щодо зміни кольору в системі CIELab дає параметр «кольорова різниця» (ΔE), який враховує зміну яскравості та двох кольорових компонент зразка. При цьому, вважається, що:

- при $\Delta E=0,0\div1,0$ різниця «невидима»;
- при $\Delta E=1,0\div2,0$ різниця «легко видима»;
- при $\Delta E=2,0\div4,0$ різниця «видима»;
- при $\Delta E=4,0\div10,0$ різниця «добре видима»;
- при $\Delta E=> 10,0$ різниця «велика».

Як видно з даних табл. 2, зразки модифікованих ТМ №1+Cu і №2+Cu мають кольори, що візуально відрізняються від кольорів вихідних немодифікованих ТМ №7 та №8, відповідно. При цьому, насиченість

кольору зразка №1+Cu є вищою, що вказує на більшу кількість наночастинок міді, які закріпилися у структурі ТМ та на його поверхні, що підтверджується електронною мікроскопією (рис. 3 та рис. 4).

Екрануючі властивості. Спектральні характеристики пропускання УФ випромінювання вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ наведені на рис. 6.

Значення UPF досліджуваних текстильних полотен, розраховані за рівнянням 1, наведені в таблиці 3.

Немодифікована змішана тканина полотняного переплетення №1 забезпечує захист від УФ випромінювання на рівні «дуже хороший» (UPF 30). Зразок №2 за показником UPF 20 відноситься до ТМ з «хорошим захистом». Таким чином, немодифіковані ТМ вже можуть бути використані у захисному одязі для екранування УФ випромінювання.

За результатами модифікації вихідних полотен №1 та №2 наночастинами міді були одержані ТМ з UPF 40 та UPF 30, відповідно, в залежності від виду текстильної підложки (табл.3). Одержані результати дозволяють розширити сферу використання методу модифікації наночастинами металів для одержання текстильних екранів з синтетичних волокон, наприкладі, ПЕ волокон. Метод наномодифікації дозволяє одержати текстильні матеріали з UPF 40, що згідно стандарту [7] вказує на забезпечення «відмінного захисту від ультрафіолетового випромінювання» та відповідає найкращим світовим розробкам в області текстилю для захисту від УФ-випромінювання.

Теплофізичні властивості. Результати дослідження теплофізичних властивостей вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ наведені в табл. 4. Здатність ТМ передавати та поглинати тепло визначалася за класичними показниками, а саме, тепловий опір R , теплопровідність λ (інтенсивність передачі тепла через матеріал) і температуропровідність a (швидкість вирівнювання температури в різних частинах матеріалу).

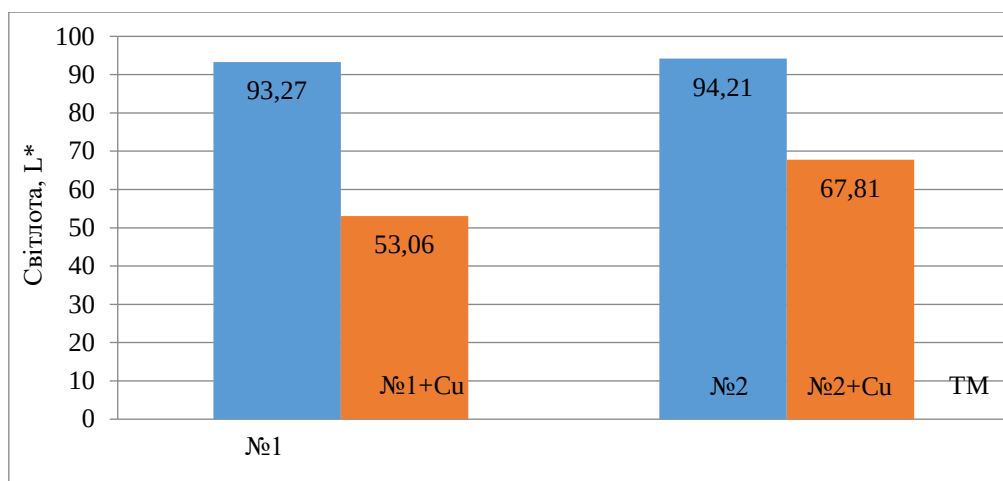


Рис. 5. Світлота зразків вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ (система CIELab)

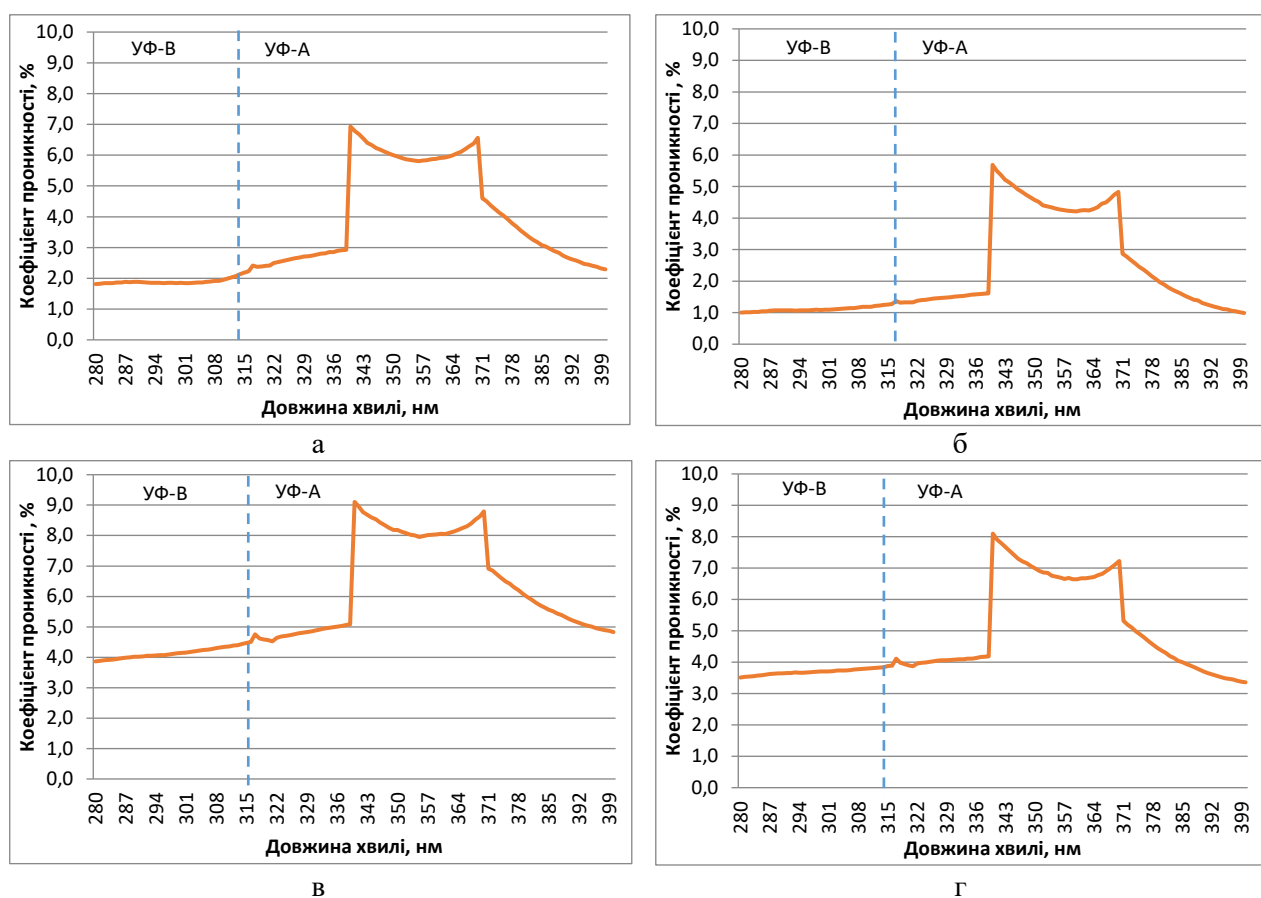


Рис. 6. Спектральні характеристики вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ: а) зразок ТМ №1; б) зразок ТМ №1+Cu; в) зразок ТМ №2; г) зразок ТМ №2+Cu

Таблиця 3

Коефіцієнт захисту від ультрафіолету (UPF) досліджуваних ТМ

Зразок ТМ	Коефіцієнт пропускання (Т,%) в області		Рівень UPF	Характеристика текстильного полотна відповідно до стандарту AS/NZ4399:1996
	УФА	УФВ		
№1	4,11	1,91	30	«дуже хороший захист»
№1+Cu	2,70	1,10	40	«відмінний захист»
№2	6,39	4,13	20	«хороший захист»
№2+Cu	5,16	3,69	30	«дуже хороший захист»

Таблиця 4

Теплофізичні показники вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ

Зразок ТМ	Товщина, h , [мм]	Тепловий опір, $R \cdot 10^{-3}$, [Вт $^{-1}$ ·К·м 2]	Коефіцієнти		
			тепло- провідності $\lambda \cdot 10^{-3}$, [Вт·м $^{-1}$ ·К $^{-1}$]	температуро- провідності $\alpha \cdot 10^{-6}$, [м 2 ·с $^{-1}$]	теплого поглинання b , [Вт·с $^{1/2}$ /м 2 ·К]
№1	0,32	5,9±0,3	54,0±0,8	0,096±0,010	175±5
№1+Cu	0,35	6,5±0,2	52,4±0,9	0,087±0,011	178±5
№2	0,33	6,5±0,4	51,1±0,9	0,110±0,012	155±4
№2+Cu	0,35	6,8±0,3	50,4±0,7	0,098±0,013	162±6

Вихідні немодифіковані зразки ТМ №1 та №2 мають близькі значення теплофізичних властивостей внаслідок схожості структурних параметрів та волокнистого складу. Модифікація полотен, внаслідок якої на поверхні та в структурі полотен розташувалися частинки міді, призвела до незначних змін в теплофізичних властивостях модифікованих полотен (табл. 5). Зміни викликані різницею у значеннях теплофізичних властивостей сировини, а саме, бавовни, поліефіру та міді. Так, згідно довідкових даних [23]:

	Коефіцієнт теплопро- відності λ , [Вт·м $^{-1}$ ·К $^{-1}$]	Коефіцієнт температуро- провідності, α , [м 2 ·с $^{-1}$]
Сировина		
Бавовна	0,05 – 0,07	0,05 – 0,15·10 $^{-6}$
Поліефір	0,15 – 0,22	0,08 – 0,15·10 $^{-6}$
Мідь	401	1,16·10 $^{-4}$

Хоча, відмінності в теплофізичних властивостях міді у порівнянні з бавовною та поліефіром є значними, але на фоні утвореного тонкого шару часток міді на поверхні та в об'ємі ТМ (рис.3 та рис.4) це не викликало статистично значимих змін. Класичні показники теплофізичних властивостей відносяться до непрямих характеристик комфортності ТМ. Сучасні тенденції зосереджують увагу на покращенні комфортності текстильних виробів, тому важливо доповнити відомі теплофізичні характеристики показником, що відображає теплові відчуття людини при контакті з матеріалом. За даними чеського вченого Л. Геса, експерта з комфорту одягу, ці відчуття можна оцінити через коефіцієнт теплового поглинання b . Дослідження підтверджують, що збільшення значення

цього коефіцієнта посилює відчуття прохолоди при дотику до текстильних поверхонь [21]. Аналіз даних табл. 4 вказав на зміну коефіцієнта теплового поглинання в бік збільшення, але це збільшення є в межах похибки експерименту.

Паропроникні властивості. Іншою, не менш важливою складовою комфортності ТМ літнього асортименту є здатність полотен відводити вологу з підодягового простору у навколишнє середовище, тобто їх паропроникність. Паропроникні властивості **вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ визначалися за методом «шкірного симулятора»** (у англійській літературі «skin simulator») на приладі PERMETEST, та наведені в табл. 5.

Таблиця 5

Паропроникні властивості вихідних немодифікованих та модифікованих ТМ

Зразок ТМ	Опір потоку водяної пари, R_{et} , [м 2 ·Па/Вт]	Відносна паропроникність, P [%]
№1	1,4±0,09	76,5±2,0
№1+Cu	1,5±0,09	74,5±1,0
№2	1,7±0,04	73,2±1,1
№2+Cu	1,8±0,03	72,0±1,2

Для характеристики паропроникних властивостей ТМ були використані наступні показники: відносна паропроникність, P , % та опір потоку водяної пари, R_{et} , м 2 ·Па/Вт.

Результати дослідження паропроникних властивостей модифікованих полотен показали, що за рахунок «наповнення» поверхні та об'єму ТМ частками міді, збільшується товщина ТМ (табл. 3) та зменшується їх наскрізна пористість, що

призводить до зменшення паропроникності модифікованих полотен. Але це зменшення є статистично незначимими.

З метою оцінки комфортності ТМ Hohenstein Institute розроблена рейтингова система комфортності – Hohenstein Institute's comfort rating system, яка дозволяє за значеннями показника опору потоку водяної пари класифікувати ТМ за рівнем комфортності (табл. 6).

Таблиця 6

**Рейтингова система комфортності,
Hohenstein Institute**

Значення опору потоку водяної пари, R_{et} , [м ² ·Па/Вт]	Характеристика
0 – 6	Дуже добре або надзвичайно добре пропускає водяну пару. Комфорт при високому рівні активності
6 – 13	Добре або дуже добре пропускає водяну пару. Комфорт при помірному рівні активності
13 – 20	Задовільно пропускає водяну пару. Незручно при високому рівні активності
20 – 30	Незадовільно або ледь пропускає водяну пару. Помірний комфорт при низькому рівні активності
30+	Незадовільно або не пропускає водяну пару. Незручність та короткий час експлуатації.

З таблиці 6 видно, що всі тканини (немодифіковані та модифіковані) оцінені в діапазоні від 0 до 6 і відповідають найвищому рівню комфортності «Дуже добре або надзвичайно добре пропускає водяну пару. Комфорт при високому рівні

активності». Результати показують, що модифіковані тканини будуть зручними для використання, забезпечуючи при цьому необхідний рівень захисту від шкідливої дії УФ випромінювання.

Висновки. За результатами дослідження можна зробити низку висновків, а саме:

1. Спосіб модифікації ТМ наночастинками металів методом просочення в розчинах солей металів з подальшим відновленням іонів металів у структурі та на поверхні ТМ може бути використаний для пористих матеріалів будь-якої хімічної природи.

2. Доведена ефективність використання змішаних полотен (бавовна/поліестер) як основи текстильного екрану для захисту від УФ випромінювання. Одержані модифіковані ТМ з UPF 40, що згідно стандарту [7] вказує на забезпечення «відмінного захисту від ультрафіолетового випромінювання» та відповідає найкращим світовим розробкам в області текстилю для захисту від УФ-випромінювання.

3. Модифіковані полотна забезпечують не тільки високі екрануючі властивості щодо дії УФ випромінювання, а і володіють високими паропроникними та теплофізичними властивостями, що дозволяє забезпечити комфортність використання одержаних полотен у виробках літнього асортименту.

Подяка: Це дослідження було профінансовано Міністерством освіти і науки України в рамках науково-технічного проекту № PC/64-2024 від 30.09.2024, що реалізовувався за рахунок зовнішнього інструменту допомоги Європейського Союзу для виконання зобов'язань України у Рамковій програмі Європейського Союзу з наукових досліджень та інновацій «Горизонт 2020».

Література

1. Семенов А. О., Попов С. В., Сахно Т. В., Тарасенко Д. С. Ультрафіолет: сфери використання та джерела випромінювання: монографія. Полтава: ПП «Астроя», 2023. 190 с.
2. Ultraviolet radiation. World Health Organization. URL: https://www.who.int/health-topics/ultraviolet-radiation#tab=tab_1
3. Xiaoyou Tang, Tingyi Yang, Daojiang Yu, Hai Xiong, Shuyu Zhang. Current insights and future

References

1. Semenov, A. O., Popov, S. V., Sakhno, T. V., & Tarasenko, D. S. (2023). Ultraviolet: areas of use and sources of radiation. Monograph. Poltava: PP "Astraya". 190 p. [in Ukrainian].
2. World Health Organization (n.d.). Ultraviolet radiation. https://www.who.int/health-topics/ultraviolet-radiation#tab=tab_1.
3. Xiaoyou Tang, Tingyi Yang, Daojiang Yu, Hai Xiong, Shuyu Zhang (2024). Current insights and

perspectives of ultraviolet radiation (UV) exposure: Friends and foes to the skin and beyond the skin, *Environment International*. 2024. Vol. 185. Art.108535. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108535>

4. Abidi N., Hequet E., Tarimala S., Dai L. L. Cotton fabric surface modification for improved UV radiation protection using sol-gel process. *Journal of Applied Polymer Science*. 2007. Vol. 104. P. 111–117.

5. Stanford D. G., Georgouras K. E., Pailthorpe M. T. Rating clothing for sun protection: current status in Australia. *J. Eur. Acad. Dermatology Venereol.* 1997. No. 8. P. 12–17. DOI: <https://doi.org/10.1111/J.1468-3083.1997.TB00450.X>.

6. Dubrovski P. D., Golob D. Effects of woven fabric construction and color on ultraviolet protection. *Textile Research Journal*. 2009. Vol. 79. P. 351–359.

7. AS/NZ 4399:1996 Sun Protective Clothing—Evaluation and Classification.

8. Gies P. H., Roy C. R., Toomey S., McLennan A. Protection against solar ultraviolet radiation. *Mutation Research*. 1998. Vol. 422. P. 15–22.

9. Sourav Banerjee, Wazed Ali S., & Naik S. N. Ultraviolet Protective Textiles -An Overview through the Lens of Testing Standards and Influencing Factors. *Annual Technical Volume of Textile Engineering Division Board*. 2024. Vol. 6. P. 265–277. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15277.40163>.

10. Xin J. H., Daoud W. A., Kong Y. Y. A new approach to UV- blocking treatment for cotton fabrics. *Textile Research Journal*. 2004. Vol. 74. P. 97–100.

11. Feng X., Guo X., Chen K., Qian S., Sun J., Jian Y., Yan W., Chen D. Breathable, self healable, durable superhydrophobic and UV-blocking cotton fabrics. *Chem. Eng.* 2024. Vol. 492. P. 152–420. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.152420>.

12. Gorenssek M., Sluga F. Modifying the UV blocking effect of polyester fabric. *Textile Research Journal*. 2004. Vol. 74. P. 469–474.

13. Wilson C. A., Bevin N. K., Laing R. M., Niven B. E. Solar protection – Effect of selected fabric and use characteristics on UV transmission. *Textile Research Journal*. 2008. Vol. 78. P. 95–104.

14. Pan N., Sun G. Functional textiles for improved performance, protection and health. Birmingham: Elsevier, 2011.

15. Cot M., Mijas G., Prieto-Fuentes R., Riba-Moliner M., & Cayuela D. The influence of titanium dioxide (TiO₂) particle size and crystalline form on the microstructure and UV protection factor of polyester substrates. *Polymers (Basel)*. 2024. No. 16(4). Art. 475. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym16040475>.

16. Ojstrsek A., Kleinschek K. S., Fakin D. Characterization of nano-sized TiO₂ suspensions for functional modification of polyester fabricl. *Surface & coating technology*. 2013. Vol. 226. P. 68–74.

17. Frydrych I, Dziworska G., Bilska J. Comparative analysis of the thermal insulation properties of fabrics made of natural and man-made cellulose fibres. *FIBRES TEXTILES East. Eur.* 2002. No. 10. P. 40–44.

future perspectives of ultraviolet radiation (UV) exposure: Friends and foes to the skin and beyond the skin, *Environment International*, 185, 108535. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108535>.

4. Abidi, N., Hequet, E., Tarimala, S., & Dai, L. L. (2007). Cotton fabric surface modification for improved UV radiation protection using sol-gel process. *Journal of Applied Polymer Science*, 104, 111–117.

5. Stanford, D. G., Georgouras, K. E., & Pailthorpe, M. T. (1997). Rating clothing for sun protection: current status in Australia. *J. Eur. Acad. Dermatology Venereol.*, 8, 12–17. <https://doi.org/10.1111/J.1468-3083.1997.TB00450.X>.

6. Dubrovski, P. D., & Golob, D. (2009). Effects of woven fabric construction and color on ultraviolet protection. *Textile Research Journal*, 79, 351–359.

7. AS/NZ 4399:1996 Sun Protective Clothing—Evaluation and Classification.

8. Gies, P. H., Roy, C. R., Toomey, S., & McLennan, A. (1998). Protection against solar ultraviolet radiation. *Mutation Research*, 422, 15–22.

9. Sourav Banerjee, Wazed Ali, S., & Naik, S. N. (2024). Ultraviolet Protective Textiles -An Overview through the Lens of Testing Standards and Influencing Factors. *Annual Technical Volume of Textile Engineering Division Board*, Volume 6. 265-277. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15277.40163>.

10. Xin, J. H., Daoud, W. A., & Kong, Y. Y. (2004). A new approach to UV- blocking treatment for cotton fabrics. *Textile Research Journal*, 74, 97–100.

11. Feng, X., Guo, X., Chen, K., Qian, S., Sun, J., Jian, Y., Yan, W., & Chen, D. (2024). Breathable , self healable , durable superhydrophobic and UV-blocking cotton fabrics. *Chem. Eng.*, 492, 152–420. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.152420>.

12. Gorenssek, M., & Sluga, F. (2004). Modifying the UV blocking effect of polyester fabric. *Textile Research Journal*, 74, 469–474.

13. Wilson, C. A., Bevin, N. K., Laing, R. M., & Niven, B. E. (2008). Solar protection – Effect of selected fabric and use characteristics on UV transmission. *Textile Research Journal*, 78, 95–104.

14. Pan, N., & Sun, G. (2011). Functional textiles for improved performance, protection and health. Birmingham: Elsevier.

15. Cot, M., Mijas, G., Prieto-Fuentes, R., Riba-Moliner, M., & Cayuela, D. (2024). The influence of titanium dioxide (TiO₂) particle size and crystalline form on the microstructure and UV protection factor of polyester substrates. *Polymers (Basel)*, 16(4), 475. <https://doi.org/10.3390/polym16040475>.

16. Ojstrsek, A., Kleinschek, K. S., & Fakin, D. (2013), Characterization of nano-sized TiO₂ suspensions for functional modification of polyester fabricl. *Surface & coating technology*, 226, 68–74.

17. Frydrych, I., Dziworska, G., & Bilska, J. (2002). Comparative analysis of the thermal insulation properties of fabrics made of natural and man-made cellulose fibres. *FIBRES TEXTILES East. Eur.*, 10, 40–44.

18. Martí M., Gisbert-Paya J., Bonet-Aracil M. Á., Jovančić P., Lis M. J., Coderch L. Increased Comfort of Polyester Fabrics. *Polymers*. 2021. No. 13(17). Art. 3010. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13173010>.
19. CIE 1976 L*a*b*. In: Luo, M.R. (eds) (2016). *Encyclopedia of Color Science and Technology*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8071-7_100036.
20. Арабулі С. І. Порівняльний аналіз методів визначення паропроникності текстильних матеріалів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2017. № 3 (110). С. 32–40.
21. Hes L., Dolezal I. Indirect measurement of moisture absorptivity of functional textile fabrics. *XXII World Congress of the International Measurement Confederation (IMEKO 2018) IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1065 (2018).
22. Vlasenko V., Smertenko P., Berezenko S., Arabuli S., Kucherenko V. Synthesis of metals nano-particles in the porous structure of textiles for UV-shielding. *Vlakna a Textil*. 2017. No. 24 (4). P. 30–33. URL: http://vat.ft.tul.cz/Archive/VaT_2017_4.pdf.
23. Обертюх Р. Р., Слабкий А. В. Теоретичні основи теплотехніки: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. 2-ге вид., перероб. та доп. Вінниця: ВНТУ, 2020. 180 с.
18. Martí, M., Gisbert-Paya, J., Bonet-Aracil, M. Á., Jovančić, P., Lis, M. J., & Coderch, L. (2021). Increased Comfort of Polyester Fabrics. *Polymers*, 13(17), 3010. <https://doi.org/10.3390/polym13173010>.
19. CIE 1976 L*a*b*. In: Luo, M.R. (eds.) (2016), *Encyclopedia of Color Science and Technology*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8071-7_100036.
20. Arabuli, S. I. (2017). Porivnialnyi analiz metodiv vyznachennia paropronyknosti tekstylnykh materialiv [Comparative analysis of methods for determining the vapor permeability of textile materials]. *Bulletin of the KNUTD*, 3(110), 32–40 [in Ukrainian].
21. Hes, L., & Dolezal, I. (2018). Indirect measurement of moisture absorptivity of functional textile fabrics. *XXII World Congress of the International Measurement Confederation (IMEKO 2018) IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1065.
22. Vlasenko, V., Smertenko, P., Berezenko, S., Arabuli, S., & Kucherenko, V. (2017). Synthesis of metals nano-particles in the porous structure of textiles for UV-shielding. *Vlakna a Textil*, 2017, 24(4), 30–33. http://vat.ft.tul.cz/Archive/VaT_2017_4.pdf.
23. Obertiukh, R. R., & Slabkyi, A. V. (2020). Teoretychni osnovy teplotekhniky: elektronnyi navchalnyi posibnyk kombinovanoho (lokalnoho ta merezhnoho) vykorystannia [Theoretical Foundations of Thermal Engineering: an electronic study guide for combined (local and network) use]. 2nd edition, revised and expanded. Vinnytsia: VNTU. 180 p. [in Ukrainian].

ПОЛЮХОВИЧ АНДРІЙ

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна
e-mail: poliukhovych.a@kmutd.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0001-5941-4991>

КОВАЛЬОВ ЮРІЙ

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна
e-mail: kovalov.ya@kmutd.com.ua
<https://orcid.org/0000-0003-2321-6763>

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ГІБРИДНОЇ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ ПЛАТФОРМИ

Мета. Теоретичне обґрунтування концепції гібридної транспортно-логістичної платформи, призначеної для функціонування у змішаному людино-роботизованому середовищі, а також формування принципів побудови її архітектури, функціональної структури та адаптивної навігації.

Методи. Методологічною основою дослідження є системний підхід до проєктування мехатронних транспортно-логістичних систем, аналіз сучасних наукових публікацій, узагальнення підходів мобільної робототехніки, мехатроніки та цифрової логістики, а також концептуальне моделювання. Використано методи структурно-функціонального синтезу, порівняльного аналізу та сценарного опису функціонування платформи.

Результати. Запропоновано концептуальну архітектуру гібридної транспортно-логістичної платформи, визначено її основні функціональні модулі та сформовано підхід до моделювання поведінки у змінному людино-роботизованому середовищі. Обґрунтовано взаємодію навігаційної, сенсорної, механічної та інформаційно-комунікаційної підсистем, що забезпечують адаптивне виконання транспортних операцій та інтеграцію із цифровою інфраструктурою підприємства.

Наукова новизна. Запропоновано структурно-функціональну концепцію гібридної транспортно-логістичної платформи, в межах якої транспортна, сенсорна, навігаційна та інформаційно-комунікаційна складові інтегровані в єдину мехатронну систему, орієнтовану на адаптивне функціонування у змінному людино-роботизованому середовищі на підприємствах легкої промисловості.

Практична значимість. Отримані результати можуть бути використані як теоретична основа для розроблення математичних моделей, алгоритмів керування та створення експериментальних зразків гібридних транспортно-логістичних платформ.

Ключові слова: гібридна транспортно-логістична платформа; мобільна робототехніка; мехатронна система; адаптивна навігація; людино-роботизована взаємодія.

THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE CONCEPT OF A HYBRID TRANSPORT AND LOGISTICS PLATFORM

POLIUKHOVYCH ANDRII, KOVAL'OV YURI

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

Purpose. The purpose of this study is to provide a theoretical justification for the concept of a Hybrid Transport and Logistics Platform (HTLP) intended for operation in mixed human–robot environments, as well as to formulate the principles underlying its architecture, functional structure, and adaptive navigation.

Methodology. The research is based on a systems approach to the design of mechatronic transport and logistics systems. The methodology combines the analysis of recent scientific publications, the synthesis of current approaches in mobile robotics, mechatronics, and digital logistics, together with conceptual modeling. Structural and functional synthesis, comparative analysis, and scenario-based modeling were applied to develop the proposed platform concept and describe its operating principles.

Results. A conceptual architecture of the Hybrid Transport and Logistics Platform is proposed, its principal functional modules are identified, and an approach to behavior modeling in dynamic human–robot environments is developed. The interaction between the navigation, sensing, mechanical, and information and communication subsystems is substantiated, providing adaptive execution of transport operations and seamless integration with the enterprise's digital infrastructure.

Scientific novelty. A structural and functional concept of a Hybrid Transport and Logistics Platform is proposed, in which the transport, sensing, navigation, and information and communication components are integrated into a unified mechatronic system designed for adaptive operation in dynamic human–robot environments at light industry enterprises.

Practical significance. The obtained results may serve as a theoretical basis for the development of mathematical models, control algorithms, and experimental prototypes of Hybrid Transport and Logistics Platforms intended for application in modern manufacturing and logistics systems.

Keywords: hybrid transport and logistics platform; mobile robotics; mechatronic system; adaptive navigation; human–robot interaction.

Вступ. Ефективність сучасних виробничих і транспортно-логістичних систем значною мірою визначається організацією внутрішньооб'єктного переміщення матеріалів, напівфабрикатів і готової продукції. Дослідження логістичних процесів на підприємствах свідчать, що транспортні операції залишаються однією з найменш автоматизованих складових виробництва, що призводить до збільшення частки ручної праці, зниження продуктивності та ефективності матеріальних потоків [1, 2]. Це також стосується і підприємств легкої промисловості. Їм присутня насиченість транспортних потоків (складально-пошивальні цеха взуттєвого та швейного виробництва), з високою часткою ручної праці. Подальший розвиток виробничої логістики потребує створення транспортних систем, здатних працювати у змінному виробничому середовищі, адаптуватися до різних характеристик вантажів і забезпечувати безпечну взаємодію з персоналом. Важливу роль у цьому відіграють сучасні транспортні й перевантажувальні пристрої, а також мехатронні рішення, що забезпечують гнучкість транспортних процесів [3–5].

Одним із перспективних напрямів розвитку транспортно-логістичних систем є використання автономних мобільних роботів (Autonomous Mobile Robots – AMR), здатних функціонувати без жорстко визначеної транспортної інфраструктури та адаптувати маршрути руху відповідно до змін

навколишнього середовища. Сучасні дослідження охоплюють питання автономної навігації, сенсорного забезпечення, людино-роботизованої взаємодії та координації роботи мобільних роботів у логістичних системах [6, 7]. Паралельно розвиваються підходи цифрового проектування мехатронних систем і цифрової трансформації виробничої інфраструктури, що створюють передумови для інтеграції роботизованих платформ із корпоративними інформаційними системами підприємств [8, 9]. Водночас методичні підходи до транспортного моделювання можуть бути адаптовані для дослідження поведінки автономних транспортно-логістичних платформ у внутрішньооб'єктній логістиці [10]. Необхідність розвитку інтелектуальних транспортних систем і цифровізації логістичних процесів також визначена Національною транспортною стратегією України до 2030 року [11].

Незважаючи на значний науковий доробок, більшість існуючих досліджень присвячена окремим аспектам транспортно-логістичних систем і мобільної робототехніки. Питання комплексного поєднання транспортних, мехатронних і цифрових рішень у межах єдиної гібридної транспортно-логістичної платформи, призначеної для функціонування у змішаному людино-роботизованому середовищі, залишається недостатньо опрацьованим. Зокрема, потребують подальшого розвитку підходи

до формування архітектури таких платформ, визначення їх функціональних модулів, принципів адаптивної навігації та інтеграції із цифровими системами управління логістичними процесами.

Метою статті є теоретичне обґрунтування концепції гібридної транспортно-логістичної платформи для функціонування у змішаному людино-роботизованому середовищі та формування загальних принципів побудови її архітектури, функціональної структури й адаптивної навігації.

Сучасні міжнародні дослідження свідчать, що подальший розвиток внутрішньовиробничої логістики пов'язаний не лише з підвищенням автономності мобільних роботів, а й із забезпеченням їх ефективної взаємодії з людиною у спільному робочому просторі. У межах концепції Industry 5.0 особливого значення набувають людиноцентричність, безпечність та адаптивність роботизованих транспортних систем [12–14]. Водночас функціонування мобільних транспортних засобів у середовищі з непередбачуваним рухом персоналу може спричиняти уповільнення, вимушені зупинки та зниження продуктивності системи, що актуалізує завдання адаптивного керування транспортними процесами [13].

Постановка завдання. Питання автоматизації транспортно-логістичних процесів активно досліджуються у галузях виробничої логістики, мехатроніки та мобільної робототехніки. У роботах [1–5] розглянуто особливості організації внутрішньовиробничих вантажопотоків, конструктивні рішення транспортних і перевантажувальних пристроїв, а також динамічні особливості переміщення об'єктів транспортування. Отримані результати створюють наукове підґрунтя для розроблення сучасних робототехнічних засобів внутрішньооб'єктної логістики.

Подальший розвиток роботизованих транспортних систем пов'язаний із використанням автономних мобільних роботів та формуванням спільних людино-роботизованих робочих просторів. Сучасні міжнародні дослідження охоплюють проблеми безпечної взаємодії мобільних транспортних засобів із персоналом,

координації роботизованих систем, адаптивного планування транспортних операцій та цифрової інтеграції таких систем із виробничою інфраструктурою [6, 7, 12, 13]. Зокрема, дослідження Verti та співавторів показує, що присутність персоналу в спільному транспортному просторі безпосередньо впливає на експлуатаційні показники роботизованої транспортної системи: повторні перетини маршрутів працівниками спричиняють уповільнення та зупинки транспортних засобів, збільшення часу переміщення і зниження пропускну здатності системи [13].

Поряд із цим у сучасних роботах розвиваються людиноцентричні підходи Industry 5.0 до організації взаємодії людини і робота [14], системні методи інтеграції мобільних роботів із іншими компонентами мехатронних комплексів [15], а також підходи до оцінювання продуктивності роботизованих транспортних систем на рівні всієї логістичної системи [16, 17]. Таким чином, міжнародний науковий доробок охоплює значну кількість окремих аспектів створення та експлуатації роботизованих транспортних систем.

Водночас зазначені підходи не усувають потреби у формуванні цілісної структурно-функціональної концепції транспортно-логістичної платформи, в межах якої механічна транспортна основа, сенсорне сприйняття середовища, адаптивне коригування маршруту та інформаційна взаємодія з цифровою логістичною інфраструктурою розглядаються як взаємопов'язані компоненти єдиної мехатронної системи. Саме така постановка є основою запропонованої в роботі концепції гібридної транспортно-логістичної платформи.

У зв'язку з цим завданням дослідження є формування концепції гібридної транспортно-логістичної платформи як інтегрованої мехатронної системи для роботи у змінному людино-роботизованому середовищі, визначення її функціональної архітектури та обґрунтування принципів адаптивної поведінки. Авторська складова дослідження полягає у системному поєднанні транспортної, сенсорної, навігаційної та інформаційно-комунікаційної складових

платформи в межах єдиної структурно-функціональної концепції, орієнтованої на адаптацію до динамічних умов внутрішньооб'єктної логістики.

Методи дослідження. Дослідження виконано із застосуванням системного підходу до проектування мехатронних транспортно-логістичних систем. Методологічною основою роботи є поєднання методів аналізу наукових джерел, структурно-функціонального синтезу, концептуального моделювання та порівняльного аналізу сучасних роботизованих транспортних систем.

На першому етапі проведено аналіз наукових праць, присвячених внутрішньо-об'єктній логістиці, автономним мобільним роботам, людино-роботизованій взаємодії та цифровому проектуванню мехатронних систем [1–9]. Це дозволило визначити сучасні тенденції розвитку транспортно-логістичних платформ, встановити їх основні функціональні характеристики та виявити напрями, що потребують подальших досліджень.

На другому етапі із використанням методів структурно-функціонального синтезу сформовано концептуальну модель гібридної транспортно-логістичної платформи як інтегрованої мехатронної системи. Під час побудови моделі визначено основні функціональні модулі платформи, їх взаємозв'язки та принципи інформаційної взаємодії між механічною, сенсорною, керуючою та комунікаційною підсистемами. Доцільність системного представлення складних мобільних мехатронних комплексів також підтверджується сучасними дослідженнями, у яких для інтеграції мобільних роботизованих та мехатронних підсистем застосовуються методи системного інжинірингу [15].

Подальший етап дослідження передбачав формування концептуального підходу до моделювання поведінки платформи у змінному середовищі. Для цього використано принципи транспортного моделювання та сценарного аналізу, що дозволяють враховувати зміну конфігурації середовища, появу динамічних перешкод і необхідність адаптивного коригування маршрутів руху [10]. Оцінювання роботи платформи здійснювалося на рівні концептуальних

сценаріїв її функціонування без побудови математичної моделі, що відповідає теоретичному характеру дослідження.

Результатом застосованої методики стало формування концепції гібридної транспортно-логістичної платформи, визначення її функціональної структури та принципів взаємодії із цифровою транспортно-логістичною інфраструктурою підприємства. Запропонований підхід створює основу для подальшого математичного моделювання, комп'ютерної симуляції та експериментальної перевірки запропонованих технічних рішень.

Структурну архітектуру запропонованої гібридної транспортно-логістичної платформи наведено на рис. 1.

Результати дослідження та обговорення. *Концептуальна архітектура гібридної транспортно-логістичної платформи.* У результаті проведеного дослідження сформовано концептуальну архітектуру гібридної транспортно-логістичної платформи (ГТЛП), яка розглядається як інтегрована мехатронна система для автоматизованого транспортування вантажів у змішаному людино-роботизованому середовищі. На відміну від традиційних автоматизованих керованих транспортних засобів (AGV), запропонована платформа орієнтована на функціонування в умовах динамічної зміни транспортної ситуації, наявності персоналу та необхідності безперервної взаємодії з цифровою інфраструктурою підприємства.

Концепція платформи базується на інтеграції механічної, сенсорної, керуючої та інформаційно-комунікаційної підсистем, що відповідає сучасним принципам цифрового проектування мехатронних виробів [8]. Такий підхід забезпечує не лише виконання транспортних операцій, а й прийняття навколишнього середовища, прийняття навігаційних рішень, адаптацію до змін виробничої ситуації та інформаційну взаємодію із системами управління логістичними процесами підприємства [9].

Структурну (концептуальну) архітектуру запропонованої гібридної транспортно-логістичної платформи наведено на рис. 1.



Рис. 1. Структурно-функціональна архітектура гібридної транспортно-логістичної платформи

Центральний модуль керування координує роботу навігаційного, сенсорного, механічного та інформаційно-комунікаційного модулів. Навігаційний модуль забезпечує побудову та адаптивне коригування маршруту руху; сенсорний – сприйняття навколишнього середовища та виявлення перешкод; механічний – реалізацію переміщення платформи; інформаційно-комунікаційний – обмін даними із цифровою транспортно-логістичною інфраструктурою підприємства. Сукупність зазначених модулів формує єдину структурно-функціональну систему ГТЛП.

Запропонована модульна архітектура забезпечує можливість адаптації платформи до різних умов експлуатації, типів вантажів і рівнів автоматизації виробничих та складських об'єктів. Такий підхід створює основу для подальшого розвитку алгоритмів адаптивної навігації, поведінкового моделювання та цифрової інтеграції гібридних транспортно-логістичних платформ.

Підхід до моделювання поведінки платформи у змінному середовищі. Одним із ключових результатів дослідження є формування концептуального підходу до моделювання поведінки гібридної транспортно-логістичної платформи у змінному виробничому середовищі. На відміну від

традиційних автоматизованих транспортних засобів, що функціонують за наперед визначеними маршрутами, запропонована платформа повинна забезпечувати адаптивне прийняття рішень залежно від поточної транспортної ситуації, появи перешкод, зміни характеристик матеріальних потоків і взаємодії з персоналом.

Запропонований підхід базується на поєднанні принципів транспортного моделювання, сценарного аналізу та адаптивної навігації. При цьому поведінка платформи розглядається як послідовність взаємопов'язаних рішень щодо вибору маршруту, оцінювання навколишнього середовища та коригування траєкторії руху відповідно до поточних умов експлуатації [10].

Для оцінювання функціонування платформи виділено три типові сценарії роботи: базовий режим руху за відсутності перешкод, режим адаптивного обходу локальних перешкод та режим повного перепланування маршруту у разі блокування запланованої траєкторії. Такий підхід дозволяє аналізувати поведінку платформи в умовах різного рівня складності транспортної ситуації та оцінювати її здатність підтримувати безпечне й безперервне виконання транспортних операцій.

Типові сценарії функціонування гібридної транспортно-логістичної платформи наведено на рис. 2.

У базовому сценарії (рис. 2, а) платформа рухається сформованим маршрутом за відсутності перешкод. У разі появи локальної перешкоди або персоналу в робочій зоні здійснюється локальне коригування траєкто-

рії з подальшим поверненням до запланованого маршруту (рис. 2, б). Якщо подальший рух сформованим маршрутом неможливий, виконується його перепланування та формується альтернативний шлях до цільової позиції (рис. 2, в). Такий сценарний поділ відображає різні рівні адаптації платформи до змін транспортної ситуації.

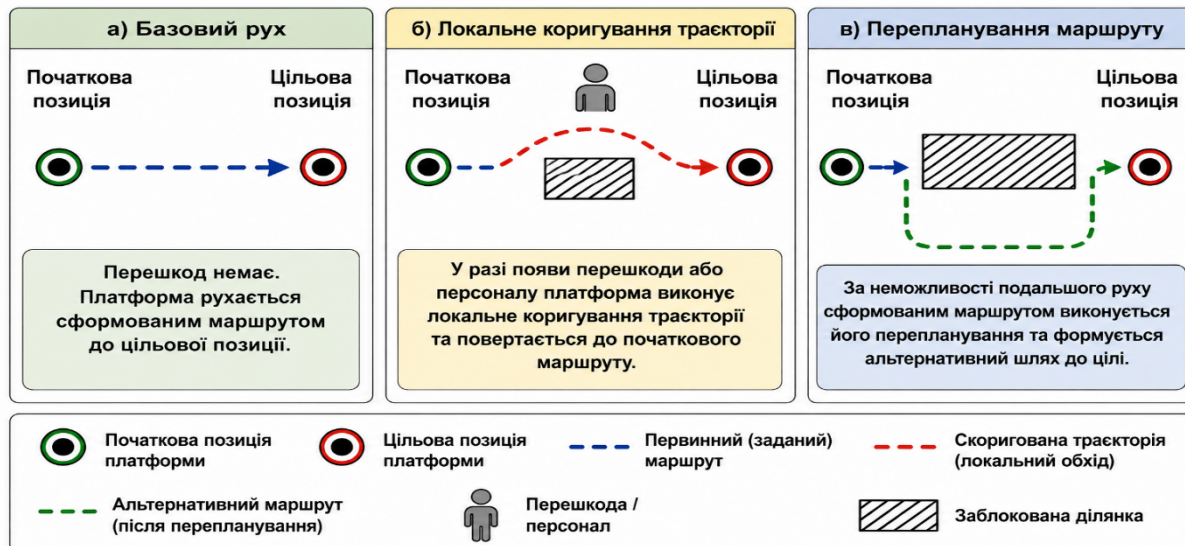


Рис. 2. Типові сценарії руху гібридної транспортно-логістичної платформи у змінному середовищі: а – базовий рух; б – локальне коригування траєкторії; в – перепланування маршруту

Отримані концептуальні результати узгоджуються із сучасними дослідженнями людино-роботизованої взаємодії в інтра-логістиці, які підтверджують необхідність урахування динамічної поведінки персоналу під час проєктування роботизованих транспортних систем [12, 13]. Зокрема, Verti та співавтори показали, що збільшення кількості перетинів маршрутів працівниками призводить до зростання часу переміщення мобільних транспортних засобів та зниження загальної продуктивності системи [13]. Це підтверджує доцільність передбаченого у концепції ГТЛП адаптивного коригування маршруту залежно від поточного стану робочого середовища.

Водночас запропонована концепція відрізняється від підходів, спрямованих переважно на оцінювання окремих параметрів транспортного парку, його продуктивності або безпечності спільного робочого простору [13, 16, 17]. У цьому дослідженні основним об'єктом є сама гібридна транспортно-логістична платформа як інтегрована

мехатронна система, у якій функції сприйняття середовища, формування та коригування маршруту, реалізації руху й цифрової взаємодії розглядаються комплексно.

Запропонований підхід до моделювання поведінки платформи створює основу для подальшої розробки математичних моделей адаптивної навігації, алгоритмів планування руху та комп'ютерної симуляції транспортно-логістичних процесів у змішаному людино-роботизованому середовищі.

Очікувані переваги та перспективи практичного впровадження. Проведене дослідження показало, що запропонована концепція гібридної транспортно-логістичної платформи має низку переваг порівняно з традиційними автоматизованими транспортними засобами, які функціонують за фіксованими маршрутами. Насамперед це стосується здатності адаптуватися до змін транспортної ситуації без необхідності суттєвого перепланування виробничої інфраструктури або створення спеціалізованої стаціонарної навігаційної інфраструктури.

Завдяки інтеграції сенсорної системи, адаптивної навігації та цифрової взаємодії з інформаційними системами підприємства платформа може оперативно реагувати на появу перешкод, зміну конфігурації маршрутів і транспортних потоків, забезпечуючи безпечне виконання логістичних операцій у змішаному людино-роботизованому середо-

вищі. Це створює передумови для підвищення ефективності внутрішньооб'єктної логістики, скорочення непродуктивних простоїв та більш раціонального використання виробничих ресурсів.

Алгоритм прийняття навігаційних рішень, який реалізує запропонований підхід до адаптивного керування платформою, наведено на рис. 3.

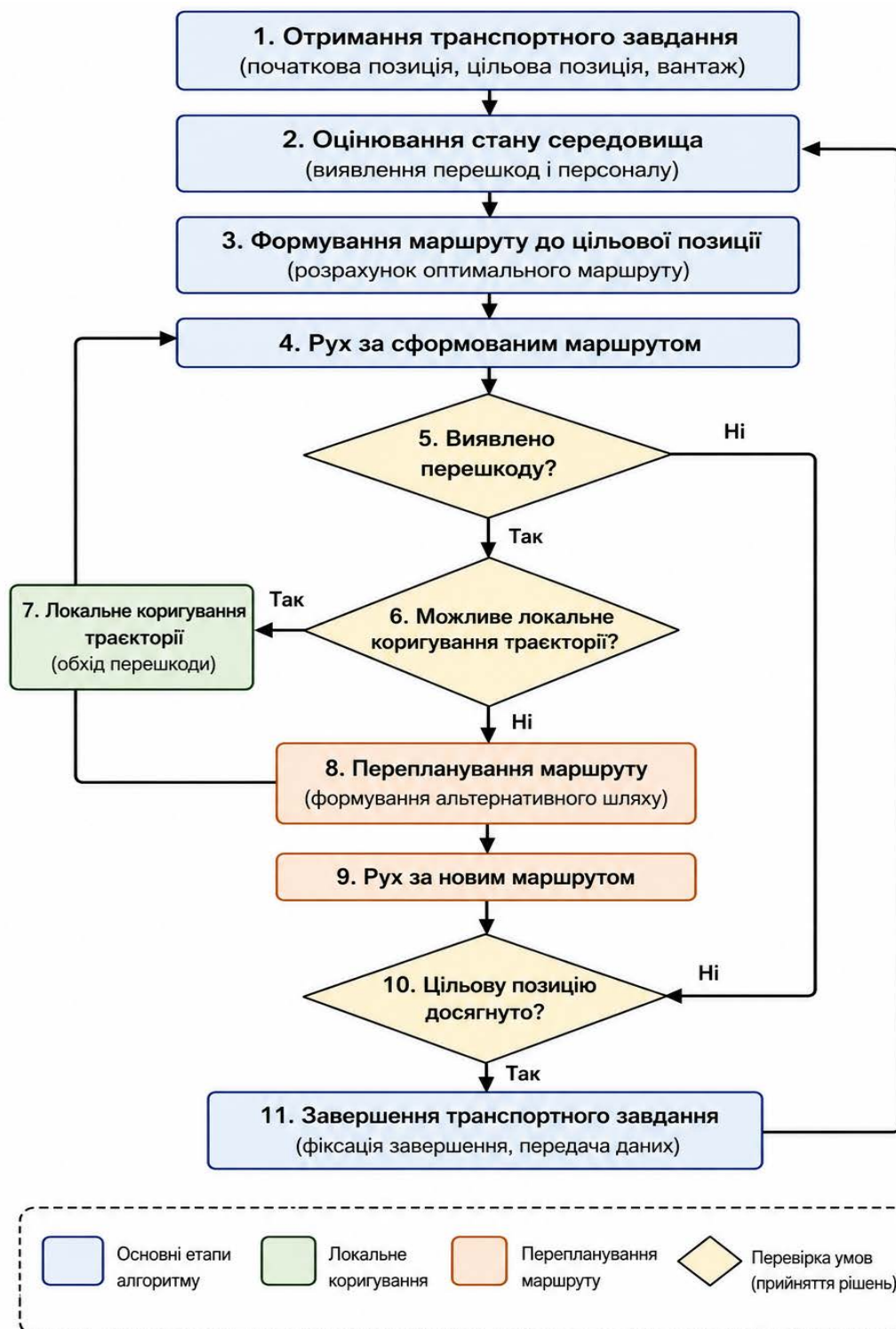


Рис. 3. Алгоритм адаптивної навігації гібридної транспортно-логістичної платформи

Алгоритм адаптивної навігації передбачає циклічне оцінювання стану робочого середовища під час виконання транспортного завдання. За відсутності перешкод платформа продовжує рух сформованим маршрутом до цільової позиції. У разі виявлення перешкоди оцінюється можливість локального коригування траєкторії; якщо такий обхід можливий, траєкторія коригується без повного перепланування маршруту. Якщо локальний обхід не забезпечує подальшого виконання транспортного завдання, здійснюється перепланування маршруту з урахуванням поточного стану середовища. Після кожного коригування платформа продовжує рух із повторним контролем транспортної ситуації до досягнення цільової позиції.

Практичне впровадження запропонованої концепції є перспективним для виробничих підприємств, складських комплексів, сортувальних центрів і логістичних вузлів, у яких транспортні процеси характеризуються високою динамікою матеріальних потоків та одночасною присутністю персоналу й роботизованих транспортних засобів. Окремим напрямом практичного застосування запропонованої концепції є внутрішньовиробнича логістика підприємств легкої промисловості. Для швейних, взуттєвих та інших виробництв галузі характерне багатоетапне переміщення матеріалів, виробничої тари, комплектувальних виробів і напівфабрикатів між технологічними, підготовчими, складськими та комплектувальними зонами [1–5, 9]. Наявність значної кількості послідовних технологічних операцій та одночасна присутність персоналу в транспортних зонах створюють передумови для використання мобільних роботизованих платформ, здатних адаптувати маршрути без необхідності формування повністю ізольованої транспортної інфраструктури. У цьому контексті ГТЛП може розглядатися як перспективний мехатронний засіб автоматизації внутрішньооб'єктних транспортних операцій підприємств легкої промисловості.

Запропонована концепція відповідає сучасним тенденціям розвитку цифрового виробництва, мехатронних систем та інтелектуальної транспортної інфраструктури

[8, 9], а також узгоджується зі стратегічними напрямами розвитку транспортно-логістичної галузі, визначеними Національною транспортною стратегією України до 2030 року [11]. Отримані результати можуть бути використані як теоретична основа для подальшої розробки математичних моделей керування, комп'ютерного моделювання та створення експериментального зразка гібридної транспортно-логістичної платформи.

Висновки. У роботі теоретично обґрунтовано концепцію гібридної транспортно-логістичної платформи, призначеної для функціонування у змішаному людино-роботизованому середовищі. Запропонований підхід базується на інтеграції мехатронних засобів транспортування, адаптивної навігації, сенсорного забезпечення та цифрової взаємодії із системами управління підприємства.

Сформовано концептуальну архітектуру платформи, визначено основні функціональні модулі та запропоновано підхід до моделювання її поведінки в умовах змінного транспортно-логістичного середовища. Використання сценарного аналізу дозволяє враховувати появу динамічних перешкод, зміну транспортної ситуації та необхідність оперативного коригування маршрутів руху.

Показано, що використання гібридних транспортно-логістичних платформ має потенціал для підвищення ефективності внутрішньооб'єктної логістики, скорочення непродуктивних транспортних операцій, підвищення рівня безпеки та забезпечення інтеграції роботизованих транспортних засобів із цифровою інфраструктурою сучасного підприємства.

Практичний потенціал запропонованої концепції пов'язаний, зокрема, з автоматизацією внутрішньовиробничих транспортних процесів підприємств легкої промисловості, де необхідно забезпечувати гнучке переміщення об'єктів виробництва, які мають різні характеристики, у спільному з персоналом робочому просторі.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні математичних моделей поведінки гібридної транспортно-логістичної платформи, побудові алгоритмів адаптивного керування та навігації,

проведенні імітаційного моделювання й запропонованої концепції на реальних експериментальній перевірці транспортно-логістичних об'єктах.

Література

1. Ковальов Ю. А., Плешко С. А., Лавренчук В. І. Аналіз об'єктів транспортування в логістичних системах взуттєвого виробництва. *Легка промисловість*. 2016. № 2. С. 25–27.
2. Ковальов Ю. А., Плешко С. А., Лавренчук В. І. Стан і аналіз логістичних схем вантажопотоків взуттєвих підприємств. *Легка промисловість*. 2016. № 3. С. 24–26.
3. Ковальов Ю. А., Плешко С. А., Лавренчук В. І. Класифікація сучасних пристроїв для перевантаження об'єктів транспортування. *Легка промисловість*. 2016. № 4. С. 46–48.
4. Березін Л. М., Ковальов Ю. А. Особливості процесу переміщення об'єктів транспортування зі змінним центром мас. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2016. № 6 (104). С. 18–25.
5. Ковальов Ю. А., Плешко С. А. Огляд та аналіз сучасних пристроїв для перевантаження об'єктів транспортування. *Легка промисловість*. 2017. № 1. С. 21–29.
6. Zhang M., Grosse E. H. How to Model Human–Robot Collaborative Logistics Systems: Systematic Literature Review and Future Perspectives. *IFAC PapersOnLine*. 2024. Vol. 58, No. 19. P. 379–384. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.241>.
7. Keith R., La H. M. Review of Autonomous Mobile Robots for the Warehouse Environment. arXiv:2406.08333. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2406.08333> (дата звернення: 02.09.2026).
8. Gerschütz B., Sauer C., Kormann A. et al. Digital Engineering Methods in Practical Use during Mechatronic Design Processes. *Designs*. 2023. Vol. 7, No. 4. Art. 93. DOI: <https://doi.org/10.3390/designs7040093>.
9. Рубанка М. М., Ковальов Ю. А., Рубанка А. І. Інноваційні технології при виготовленні швейних виробів: обладнання підготовчого цеху. *Технології та інжиніринг*. 2023. № 4 (15). С. 38–52.
10. Методичні рекомендації з моделювання транспортних потоків під час оцінювання ефективності проєктних рішень щодо дорожньої інфраструктури: перша редакція МР Б.2.2-37641918-928:2022. Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури», 2023. URL: [https://nidi.org.ua/ua/metodichni-rekomendaciyi-z-modelyuvannya-transportnih-potokiv-pid-chas-ocinyuvannya-efektivnosti-proktnih-risheny-schodo-](https://nidi.org.ua/ua/metodichni-rekomendaciyi-z-modelyuvannya-transportnih-potokiv-pid-chas-ocinyuvannya-efektivnosti-proktnih-risheny-schodo-doroghyoyi-infrastrukturi-persha-redakciya-mr-b22-37641918-928-2022)

References

1. Kovalov, Yu. A., Pleshko, S. A., & Lavrenchuk, V. I. (2016). Analiz ob'ektiv transportuvannya v lohystychnykh systemakh vzuttyevoho vyrobnytstva [Analysis of transportation objects in logistics systems of footwear production]. *Lehka Promyslovist*, (2), 25–27 [in Ukrainian].
2. Kovalov, Yu. A., Pleshko, S. A., & Lavrenchuk, V. I. (2016). Stan i analiz lohystychnykh skhem vantazhopotokiv vzuttyevykh pidpriemstv [State and analysis of logistics schemes of material flows at footwear enterprises]. *Lehka Promyslovist*, (3), 24–26 [in Ukrainian].
3. Kovalov, Yu. A., Pleshko, S. A., & Lavrenchuk, V. I. (2016). Klasyfikatsiia suchasnykh prystroiv dlia perevantazhennia ob'ektiv transportuvannya [Classification of modern devices for handling transportation objects]. *Lehka Promyslovist*, (4), 46–48 [in Ukrainian].
4. Berezin, L. M., & Kovalov, Yu. A. (2016). Osoblyvosti protsesu peremishchennia ob'ektiv transportuvannya zi zminnym tsentrom mas [Features of transportation object movement with a variable center of mass]. *Visnyk of Kyiv National University of Technologies and Design*, 6(104), 18–25 [in Ukrainian].
5. Kovalov, Yu. A., & Pleshko, S. A. (2017). Ohliad ta analiz suchasnykh prystroiv dlia perevantazhennia ob'ektiv transportuvannya [Review and analysis of modern devices for handling transportation objects]. *Lehka Promyslovist*, (1), 21–29 [in Ukrainian].
6. Zhang, M., & Grosse, E. H. (2024). How to Model Human–Robot Collaborative Logistics Systems: Systematic Literature Review and Future Perspectives. *IFAC PapersOnLine*, 58(19), 379–384. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.241>
7. Keith, R., & La, H. M. (2024). Review of Autonomous Mobile Robots for the Warehouse Environment. arXiv:2406.08333. Available at: <https://arxiv.org/abs/2406.08333> (accessed: 02 September 2026).
8. Gerschütz, B., Sauer, C., Kormann, A. et al. (2023). Digital Engineering Methods in Practical Use during Mechatronic Design Processes. *Designs*, 7(4), Article 93. <https://doi.org/10.3390/designs7040093>
9. Rubanka, M. M., Kovalov, Yu. A., & Rubanka, A. I. (2023). Innovatsiini tekhnolohii pry vyhotovlenni shveinykh vyrobiv: obladnannia pidhotovchoho tsekhу [Innovative technologies in garment manufacturing: equipment of the preparation workshop]. *Tekhnolohii ta Inzhynirynh*, 4(15), 38–52 [in Ukrainian].
10. National Institute for Infrastructure Development (2023). *Methodological Recommendations for Traffic Flow Modeling in Assessing the Effectiveness of Road Infrastructure Project Solutions: First Edition* MR B.2.2-37641918-928:2022. Available at: [https://nidi.org.ua/ua/metodichni-rekomendaciyi-z-modelyuvannya-transportnih-potokiv-pid-chas-ocinyuvannya-efektivnosti-proktnih-risheny-schodo-](https://nidi.org.ua/ua/metodichni-rekomendaciyi-z-modelyuvannya-transportnih-potokiv-pid-chas-ocinyuvannya-efektivnosti-proktnih-risheny-schodo-doroghyoyi-infrastrukturi-persha-redakciya-mr-b22-37641918-928-2022)

[doroghnnyoyi-infrastrukturi-persha-redakciya-mr-b22-37641918-9282022_Kq](#) (дата звернення: 02.09.2026).

11. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року: Постанова Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2024 р. № 1550. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-п> (дата звернення: 02.09.2026).

12. Jacob F., Ranasinghe T., Gattone L., Grosse E. H. Human–robot interaction in intralogistics: opportunities, challenges, and the way forward from a socio-technical lens. *International Journal of Production Research*. 2026. Vol. 64, No. 16. P. 7019–7045. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2026.2641794>.

13. Berti N., Katirae N., Zuin S., Aldrighetti R., Persona A., Battini D. The Challenges of Driverless Mobile Vehicles in Shared Workspace in the Industry 5.0 Era. *IEEE Access*. 2025. Vol. 13. P. 27228–27237. URL: https://www.researchgate.net/publication/388808054_The_challenges_of_driverless_mobile_vehicles_in_shared_workspace_in_the_Industry_50_era (дата звернення: 02.09.2026).

14. Dhanda M., Rogers B. A., Hall S., Dekoninck E., Dhokia V. Reviewing Human-Robot Collaboration in Manufacturing: Opportunities and Challenges in the Context of Industry 5.0. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2025. Vol. 93. Art. 102937. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102937> (дата звернення: 02.09.2026).

15. Vitolo F., Rega A., Di Marino C., Pasquariello A., Zanella A., Patalano S. Mobile Robots and Cobots Integration: A Preliminary Design of a Mechatronic Interface by Using MBSE Approach. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, No. 1. Art. 419. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12010419> (дата звернення: 02.09.2026).

16. Koreis J., Loske D., Klumpp M., Glock C. H. We Belong Together – A System-Level Investigation Regarding AGV-Assisted Order Picking Performance. *International Journal of Production Economics*. 2025. Vol. 282. Art. 109527. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109527> (дата звернення: 02.09.2026).

17. Papadimitriou A., Folinas D., Kostavelis I. Human-Robot Collaborative Picking System for Agile Warehouses. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2025. Vol. 141, No. 7–8. P. 4627–4644. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-025-16938-1> (дата звернення: 02.09.2026).

[37641918-9282022_Kq](#) (accessed: 02 September 2026) [in Ukrainian].

11. Cabinet of Ministers of Ukraine (2024). National Transport Strategy of Ukraine until 2030. Resolution No. 1550 of 27 December 2024. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-п> (accessed: 02 September 2026) [in Ukrainian].

12. Jacob, F., Ranasinghe, T., Gattone, L., & Grosse, E. H. (2026). Human–robot interaction in intralogistics: Opportunities, challenges, and the way forward from a socio-technical lens. *International Journal of Production Research*, 64(16), 7019–7045. <https://doi.org/10.1080/00207543.2026.2641794>.

13. Berti, N., Katirae, N., Zuin, S., Aldrighetti, R., Persona, A., & Battini, D. (2025). The Challenges of Driverless Mobile Vehicles in Shared Workspace in the Industry 5.0 Era. *IEEE Access*, 13, 27228–27237. URL: https://www.researchgate.net/publication/388808054_The_challenges_of_driverless_mobile_vehicles_in_shared_workspace_in_the_Industry_50_era (accessed: 02 September 2026).

14. Dhanda, M., Rogers, B. A., Hall, S., Dekoninck, E., & Dhokia, V. (2025). Reviewing Human-Robot Collaboration in Manufacturing: Opportunities and Challenges in the Context of Industry 5.0. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 93, Article 102937. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102937> (accessed: 02 September 2026).

15. Vitolo, F., Rega, A., Di Marino, C., Pasquariello, A., Zanella, A., & Patalano, S. (2022). Mobile Robots and Cobots Integration: A Preliminary Design of a Mechatronic Interface by Using MBSE Approach. *Applied Sciences*, 12(1), Article 419. <https://doi.org/10.3390/app12010419> (accessed: 02 September 2026).

16. Koreis, J., Loske, D., Klumpp, M., & Glock, C. H. (2025). We Belong Together – A System-Level Investigation Regarding AGV-Assisted Order Picking Performance. *International Journal of Production Economics*, 282, Article 109527. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109527> (accessed: 02 September 2026).

17. Papadimitriou, A., Folinas, D., & Kostavelis, I. (2025). Human-Robot Collaborative Picking System for Agile Warehouses. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 141(7–8), 4627–4644. <https://doi.org/10.1007/s00170-025-16938-1> (accessed: 02 September 2026).

ОБЕЛЕЦЬ АНАСТАСІЯКиївський національний університет технологій та дизайну, Україна
e-mail: nastiaobelets@gmail.com**БАБИЧ АНТОНІНА**Київський національний університет технологій та дизайну, Україна
e-mail: basienka@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0001-5061-3292>**ФІЛОСОФІЯ ПРИНЦИПІВ SLOW FASHION ТА UPCYCLING
ЯК ОСНОВА ДЛЯ РОЗРОБКИ КАПСУЛЬНОЇ КОЛЕКЦІЇ
ВИРОБІВ ІНДУСТРІЇ МОДИ**

Актуальність теми. Актуальність зумовлена зростанням значення сталого розвитку та екологічно свідомого споживання. Використання виробничих відходів (текстиль, натуральна шкіра) у виготовленні сучасних комплектів одягу та взуття є актуальними питаннями сьогодення і цікавим експериментом для дизайнерів.

Мета дослідження. Метою наукового дослідження є питання ставлення молоді до таких феноменів як повільна мода і апсайклінг технології, а також питань практичного використання промислових відходів (текстиль, натуральна шкіра) у виготовленні одиничних ексклюзивних виробів і капсульних колекцій авторського дизайну на основі творчого джерела.

Методи. Дослідження базувались на принципах системного підходу, експерименту та аналізу.

Результати. Для реалізації ідеї проведено маркетингові дослідження шляхом гугл-анкетування респондентів щодо ставлення молоді до принципів slow fashion та upcycling за існуючими методиками.

Встановлено, що досліджувані питання є на часі, про що свідчать дані результатів гугл-опитування.

Наукова новизна. Полягає у використанні результатів дослідження споживчих уподобань молоді для розробки концепції колекції виробів сучасного дизайну, а також у доведенні теоретико-практичним шляхом можливості використання відходів для створення ексклюзивних виробів індустрії моди.

Практична значимість. Полягає у створенні дизайну колекції «Саванна», практичній реалізації процесу проектування та виготовлення комплекту виробів жіночого асортименту з відходів за сучасною технологією. Розробка асортименту виробів колекції, виготовлення та апробація зразків колекції.

Ключові слова: апсайклінг технології; повільна мода; споживча поведінка; сталий розвиток; екодизайн; проектування; виробництво.

**THE PHILOSOPHY OF SLOW FASHION AND UPCYCLING
PRINCIPLES AS A BASIS FOR DEVELOPING A CAPSULE
FASHION COLLECTION**

OBELETS ANASTASIA, BABYCH ANTONINA

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

Relevance of the topic. The relevance of this topic stems from the growing importance of sustainable development and environmentally conscious consumption. The use of industrial waste (textiles, natural leather) in the production of contemporary clothing and footwear is a pressing issue today and an intriguing challenge for designers.

Research objective. The objective of this research is to examine young people's attitudes toward phenomena such as slow fashion and upcycling technologies, as well as the practical use of industrial waste (textiles, natural leather) in the production of one-of-a-kind exclusive items and capsule collections of original designs based on creative inspiration.

Methods. The research was based on the principles of a systematic approach, experimentation, and analysis.

Results. To implement the idea, marketing research was conducted via a Google survey of respondents regarding young people's attitudes toward the principles of slow fashion and upcycling, using established methodologies.

It was established that the issues under study are timely, as evidenced by the results of the Google survey.

Scientific novelty. This lies in the use of research findings on the consumer preferences of young people to develop a concept for a collection of contemporary design products, as well as in demonstrating, through both theoretical and practical means, the possibility of using waste materials to create exclusive fashion industry products.

Practical significance. It lies in the use of research findings on young people's consumer preferences to develop a concept for a collection of contemporary design products, as well as in demonstrating, through theoretical and practical means, the possibility of using waste materials to create exclusive products for the fashion industry.

Practical significance. It lies in the creation of the "Savanna" collection design and the practical implementation of the process of designing and manufacturing a set of women's apparel items from waste using modern technology. Development of the collection's product range, production, and testing of collection samples.

Keywords: upcycling technologies; slow fashion; consumer behavior; sustainable development; eco-design; design; production.

Вступ. Легка промисловість – один зі стратегічних сегментів національної економіки [1]. В Україні успішно працюють підприємства різної потужності як на експорт, так і на внутрішній ринок [2]. Промисловість переробляє як власну (льон, шкіра, хутро, хімічні волокна, вовна), так і імпортовану (вовна, бавовна, текстиль, шкіра) сировину [2].

Українська продукція легкої промисловості експортується в 150 країн. Більше 83% всієї продукції поставляється в країни Євро-союзу [3]. Серед основних напрямів легкої промисловості важливе місце посідає одягово-взуттєва галузь, яка є не тільки важливою для внутрішнього ринку, а й має великий експортний потенціал. Однак, в цій сфері є ряд проблем: не зовсім рівні умови конкуренції на внутрішньому ринку, нестабільність в податковому законодавстві, невідосконалений механізм контролю за безпекою і якістю продукції, промислові шкіряні відходи або вибраковані куски текстильних матеріалів (лоскут),

міжлекальні відходи, низька продуктивність праці, дефіцит кадрів з необхідною кваліфікацією та обмежений вибір сировини [3].

Глобальна екологічна проблема людства станом на 2026 рік – збереження і ощадливе використання природного ресурсу та промислові відходи (переробка і утилізація). Одним з напрямків вирішення даного питання є формування відповідної споживчої поведінки молоді та залучення промисловістю інноваційних методів і апсайклінг технологій, які можуть сприяти зменшенню відсотку утилізації виробничих відходів та зниженню собівартості товарів, а також формуванню у наступних поколінь людей свідомого підходу щодо виробництва, придбання і споживання (експлуатації) виробів даного сегменту.

Аналіз попередніх досліджень. У ХХІ столітті індустрія моди перетворилася з галузі, що задовольняє переважно функціональні потреби людини, на складну соціально-економічну систему, яка визначає

сучасні моделі споживання, впливає на культурні цінності суспільства та формує стиль життя різних поколінь. Одяг і взуття сьогодні виконують не лише захисну чи естетичну функцію, а й є засобом самовираження, комунікації, демонстрації соціального статусу та індивідуальності. Дослідники все частіше наголошують, що сучасну fashion-індустрію варто розглядати не просто як сектор економіки, а як багатокomпонентну систему, яка об'єднує дизайн, виробництво, маркетинг, цифрові технології та психологію споживання [4, 5]. Але навіть у межах цього спільного розуміння автори по-різному розставляють акценти: якщо Н. Остапенко [4] зосереджується передусім на технологічних і виробничих трансформаціях фешн-індустрії, то К. Niinimäki [5] розглядає її крізь призму циркулярної економіки, що вже на етапі постановки проблеми засвідчує багатовимірність об'єкта дослідження.

Аналіз наукових джерел підтверджує, що розвиток світової модної індустрії значною мірою визначається процесами глобалізації, цифровізації та пришвидшення обігу інформації. Перенесення виробництва до різних регіонів світу, удосконалення логістики, автоматизація та розвиток електронної комерції суттєво змінили принципи функціонування модного ринку [6, 7]. Г. Корсуненко зі співавторами [7] на основі аналізу технологічних тенденцій показують, що цикл створення й реалізації колекцій скоротився з сезонного до щотижневого, а подекуди й до щоденного, тоді як К. Fletcher [6] пов'язує цю динаміку не лише з технологічними змінами, а також із трансформацією самого поняття «дизайнерського рішення», яке дедалі частіше підпорядковується логіці швидкого обороту товару, а не довготривалій цінності виробу. Вагому роль у цій трансформації відіграли цифрові технології. Соціальні мережі, маркетплейси та мобільні застосунки стали основними каналами взаємодії між брендами та споживачами [7]. Алгоритми персоналізованих рекомендацій формують у користувачів відчуття постійного дефіциту актуальності гардероба, а рішення про нову купівлю виробу дедалі частіше приймається

імпульсивно – під впливом візуального контенту та рекомендацій інфлюенсерів.

Особливо відчутним цей вплив є серед молоді, яка становить одну з найбільш активних груп споживачів модної продукції. За результатами щорічного глобального опитування Deloitte [8], представники сучасного покоління виросли в умовах постійного інформаційного потоку та високої активності соціальних мереж, для яких одяг і взуття дедалі частіше виступають не предметом гардероба, а засобом побудови цифрового образу. Саме в таких умовах сформувалася концепція fast fashion, яка сьогодні визначає характер розвитку значної частини світового ринку товарів індустрії моди [9, 10].

Важливим складником аналізу індустрії моди як системи є питання формування асортименту продукції. О. Богданова [11], аналізуючи основи стандартизації та сертифікації продукції легкої промисловості, зазначає, що система технічного регулювання в Україні поступово адаптується до європейських вимог, однак нормативна база щодо оцінювання якості і відповідності виробів, виготовлених з використанням вторинних чи перероблених матеріалів, залишається розробленою значно менше, ніж щодо продукції з первинної сировини.

Це підтверджують і загальні вимоги чинного законодавства щодо роздрібної торгівлі непродовольчими товарами [12], які орієнтовані передусім на стандартну продукцію масового виробництва і недостатньою мірою враховують специфіку авторських виробів із вторинних матеріалів. Слід також зауважити, що позиціонування продукції на межі кількох сегментів ринку: сталої моди, дизайнерського авторського виробництва та доступного молодіжного асортименту – саме по собі є нетривіальним управлінським рішенням, яке потребує окремого обґрунтування. Як показує узагальнений аналіз наведених вище джерел [12–17], українські дрібно-серійні виробники (ФОП), орієнтовані на екологічно відповідальний дизайн, здебільшого позиціонують свою продукцію саме на цьому перетині, свідомо відмовляючись від конкуренції з масовим виробництвом за ціною на користь конкуренції за унікальністю та змістовним наповненням

виробу. Це підтверджує доцільність аналогічного позиціонування і для колекції, що розробляється в межах даного дослідження.

Постановка завдання. Метою даного наукового дослідження є питання ставлення молоді до таких феноменів як повільна мода і апсайклінг технології, а також питань практичного використання промислових відходів (текстиль, натуральна шкіра) у виготовленні одиничних ексклюзивних виробів і капсульних колекцій авторського дизайну на основі творчого джерела.

Результати дослідження та їх обговорення. Вивчення споживчої поведінки молоді є важливою складовою розроблення конкурентоспроможних виробів індустрії моди, оскільки дозволяє визначити потреби цільової аудиторії, оцінити рівень її обізнаності щодо принципів сталого споживання, а також виявити психологічні та соціально-економічні чинники, що впливають на процес прийняття рішення про купівлю. Особливої актуальності такі дослідження набувають в умовах поширення концепцій fast fashion, slow fashion та апсайклінгу, які формують нові моделі споживчої поведінки та змінюють ставлення молодого покоління до процесу придбання й використання одягу та взуття [18–20].

Наведені попередньо теоретичні дослідження були враховані під час формування концепції власного емпіричного дослідження щодо стилю апсайклінгу як психологічного чинника привабливості у споживачів в умовах зростання fast fashion [21].

З метою отримання первинної інформації щодо ставлення молоді до принципів slow fashion та апсайклінгу було застосовано метод анкетування, який є одним із найпоширеніших методів соціологічних досліджень. Перевагами цього методу є можливість одночасного опитування значної кількості респондентів, стандартизована форма збору інформації, зручність статистичної обробки отриманих результатів та забезпечення анонімності відповідей, що підвищує достовірність отриманих даних [17].

Для забезпечення репрезентативності дослідження було визначено мінімальний обсяг вибірки. Розрахунок здійснювали за класичною формулою визначення

чисельності вибірки для соціологічних досліджень [18]:

$$N = Z^2 \times P \times Q / E^2,$$

де N – мінімальний обсяг вибірки;

Z – коефіцієнт довірчої ймовірності (1,96 при рівні довіри 95%);

P – ймовірність настання досліджуваної ознаки (0,5);

Q – ймовірність відсутності досліджуваної ознаки (0,5);

E – допустима похибка дослідження (0,1).

Після підстановки значень отримуємо: $N = 1,96^2 \times 0,5 \times 0,5 / 0,1^2 = 96$.

Отже, мінімальний рекомендований обсяг вибірки становить 96 респондентів. З метою підвищення достовірності результатів дослідження та спрощення подальшої статистичної обробки даних фактичну кількість учасників опитування було збільшено до 100 осіб, що також забезпечує зручність представлення результатів у відсотковому співвідношенні. Під час розроблення анкети використовувалися принципи логічної послідовності запитань – від загальної характеристики респондентів до оцінювання їхніх поглядів щодо сучасної індустрії моди, екологічно відповідального споживання та апсайклінгу. Анкета містить 31 запитання як з вибором однієї відповіді, так і з можливістю вибору декількох варіантів, а також шкальні запитання для оцінювання важливості окремих характеристик виробів, зокрема ціни, унікальності дизайну екологічності матеріалів та бренду. За структурою анкета складається з 5 блоків для кращого аналізу різних напрямів дослідження в майбутньому.

Опитування проводилося за допомогою сервісу Google Forms, що забезпечило вільний доступ до анкети значного сегменту респондентів, автоматичне накопичення результатів та їх подальшу обробку. До участі в дослідженні залучалися молоді люди різного вікового та гендерного розподілу, роду занять, регіону мешкання, які є потенційними споживачами продукції індустрії моди (Блок 1, анкета опитування). Поширення анкети здійснювалося через соціальні мережі та месенджери, що дозволило охопити

респондентів із різних регіонів України та забезпечити варіативність соціально-економічних характеристик вибірки. Запропонована структура анкети дозволяє комплексно оцінити особливості споживчої поведінки молоді (Блок 2, анкета опитування), простежити взаємозв'язок між купівельними звичками, ставленням до сталого споживання (Блок 3, анкета опитування), психологічними мотивами придбання нових речей та готовністю підтримувати екологічно відповідальні практики (Блок 4, анкета опитування), дослідити ставлення молоді до апсайклінгу та вимоги до сучасної колекції одягу та взуття (Блок 5, анкета опитування).

Для збору даних було використано метод стихійної вибірки «самовідбір» через онлайн-анкетування (посилання на анкету було викладено в соцмережах і її заповнював кожен охочий). Для опрацювання результатів застосовували методи описової статистики, графічний аналіз та порівняльний аналіз отриманих відповідей. Обробка даних здійснювалась із використанням інструментів Google Forms, що дозволило визначити частку відповідей за кожним питанням з візуалізацією діаграми та виявити основні тенденції споживчої поведінки молоді. З метою визначення перспектив використання технологій апсайклінгу при проектуванні молодіжної колекції було досліджено ставлення респондентів до

екологічно відповідального споживання, готовність підтримувати вироби, створені із застосуванням принципів апсайклінгу, а також визначено основні вимоги молоді до сучасного одягу та взуття (Блок 5, анкета опитування). Аналіз результатів анкетування молоді (згідно блоків анкети) представлено в даній роботі діаграмами (рис. 1–5).

Отже, результати соціологічного опитування демонструють стійку тенденцію серед досліджуваної групи, що сформувало цільову вибірку респондентів. Зважаючи на не великий обсяг вибірки, отримані дані мають характер пілотної оцінки аудиторії. Гендерний розподіл вказує на переважання у групі респондентів осіб жіночої статі (жінок – 88%, чоловіків – 12%), оскільки жінки активніше приймають участь в дослідженнях. Розподіл респондентів за віковими категоріями виглядає так: від 18 до 24 років – 61%, 25–34 років – 10%, 35 років і більше – 6%; до 18 років – 23%, що вказує на працездатний вік респондентів. Щодо регіонального представництва можна зазначити, що опитування охопило респондентів з центральних та західних областей України. Частка міського населення склала 65%, сільського – 24%. Частка внутрішньопереміщених осіб (ВПО) склала – 10%, громадян, що перебувають за кордоном або мешкають у прифронтових територіях – 1%.



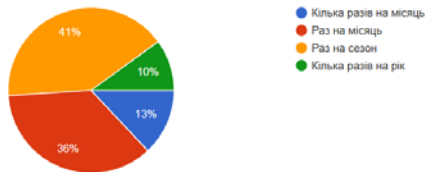
Рис. 1. Соціально-демографічна характеристика респондентів (Блок 1):

а – розподіл респондентів за віком; б – розподіл респондентів за статтю; в – розподіл респондентів за родом занять; г – регіональний розподіл респондентів.

Як часто ви купуєте новий одяг?

100 відповідей

Копіювати

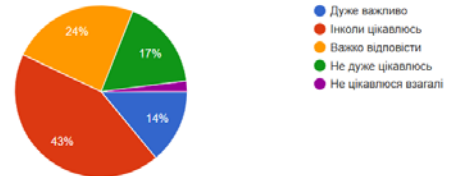


а

Наскільки для вас важливо стежити за модними тенденціями?

100 відповідей

Копіювати

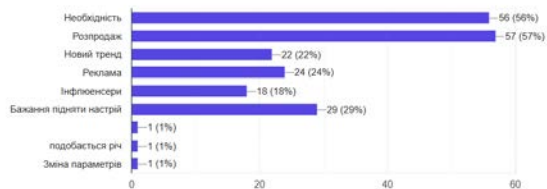


б

Що найчастіше спонукає вас до покупки?

100 відповідей

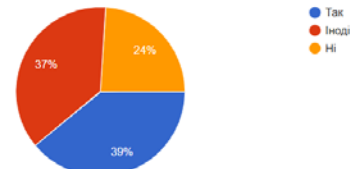
Копіювати діаграму



в

Чи купували ви речі лише тому, що вони були популярними?

100 відповідей



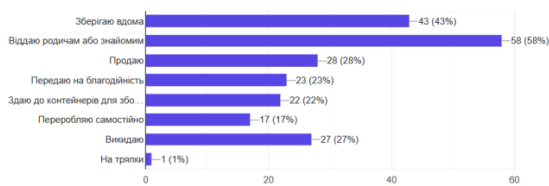
г

Рис. 2. Особливості споживчої поведінки та купівельних звичок молоді (Блок 2):
а – частота придбання нового одягу; б - важливість модних тенденцій при виборі одягу;
в – фактори, що спонукають респондентів до придбання одягу; г – вплив популярності речей на рішення про покупку.

Що ви робите з одягом, який більше не носите?

100 відповідей

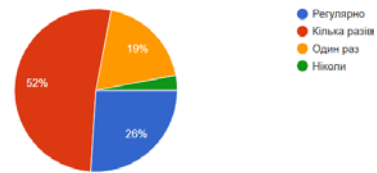
Копіювати діаграму



а

Чи купували ви коли-небудь одяг у секонд-хенді?

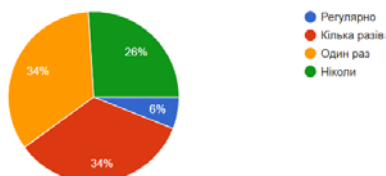
100 відповідей



б

Чи купували ви коли-небудь вінтажний одяг?

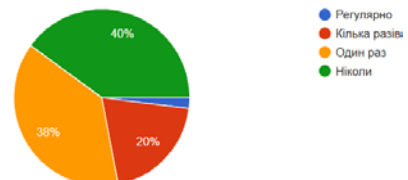
100 відповідей



в

Чи купували ви вироби з перероблених матеріалів?

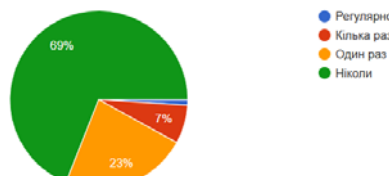
100 відповідей



г

Чи купували ви дизайнерський апсайклінг-одяг?

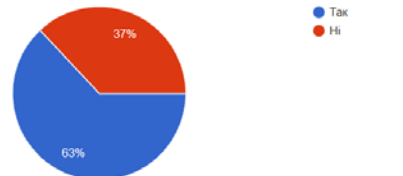
100 відповідей



д

Чи пробували ви самостійно переробляти або оновлювати одяг?

100 відповідей



е

Рис. 3. Практика сталого споживання та поводження з речами (Блок 3):
а – способи поводження респондентів з одягом, який більше не використовується; б – досвід придбання одягу в секонд-хенді; в – досвід придбання вінтажного одягу; г – досвід придбання виробів з перероблених матеріалів; д – досвід придбання дизайнерського апсайклінг-одягу;
е – досвід самостійного оновлення та переробки одягу.

На вашу думку, сучасна індустрія моди стимулює людей купувати більше одягу, ніж потрібно?

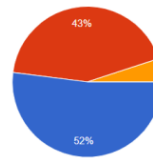
100 відповідей



а

Чи погоджуєтеся ви, що модні тренди часто використовуються компаніями як маркетинговий інструмент для збільшення продажів?

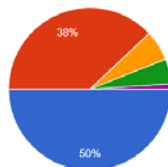
100 відповідей



б

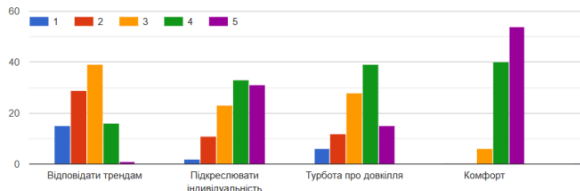
Чи можна, на вашу думку, вважати швидку зміну модних трендів способом маніпулювання поведінкою споживачів?

100 відповідей



в

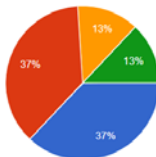
Що для вас важливіше під час вибору одягу? Шкала від 1 до 5, де 1 - найменш важливе, а 5 - найбільш



г

Чи купували ви одяг лише тому, що річ або сам процес придбання покращував вам настрій?

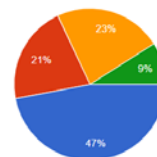
100 відповідей



д

Наскільки часто покупки допомагають вам відчувати себе щасливішими?

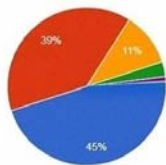
100 відповідей



е

Чи погоджуєтеся ви з твердженням: "Після покупки нового одягу я відчую короточасне емоційне задоволення."

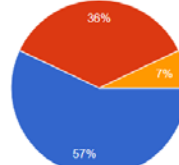
100 відповідей



є

Чи знаєте ви поняття fast fashion?

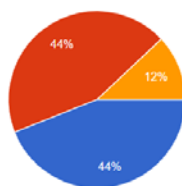
100 відповідей



ж

Чи задумувалися ви про екологічний вплив швидкої моди?

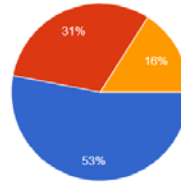
100 відповідей



з

Чи знайомі ви з поняттям slow fashion?

100 відповідей



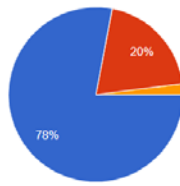
і

Рис. 4. Рівень обізнаності щодо fast fashion, slow fashion та екологічних наслідків індустрії моди, психологічні та соціально-економічні чинники вибору одягу (Блок 4):

а – оцінка впливу сучасної індустрії моди на рівень споживання одягу; б – ставлення респондентів до використання модних трендів як маркетингового інструменту; в – ставлення респондентів до швидкої зміни модних трендів як способу впливу на поведінку споживачів; г – значущість факторів під час вибору одягу; д – вплив емоційного стану на рішення про придбання одягу; е – частота отримання позитивних емоцій від покупок одягу; є – ставлення респондентів до твердження про короточасне емоційне задоволення; ж – рівень обізнаності респондентів щодо fast fashion; з – ставлення респондентів до екологічних наслідків швидкої моди; і – рівень обізнаності респондентів щодо поняття slow fashion.

Чи готові ви купувати менше, але якісні речі?

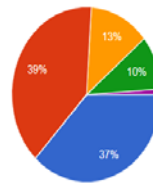
100 відповідей



а

Чи готові ви заплатити більше за екологічно відповідальний виріб?

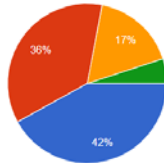
100 відповідей



б

Чи було би вам комфортно носити одяг, який виготовлений із перероблених матеріалів?

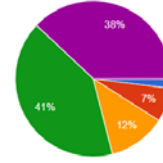
100 відповідей



в

Чи соромилися би ви сказати друзям, що ваш одяг створений шляхом апсайклінгу або придбаний у секонд-хенді?

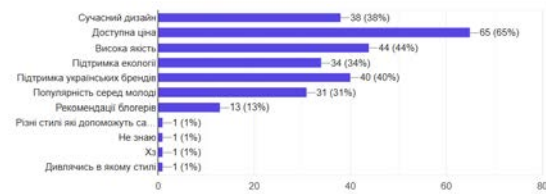
100 відповідей



г

Що могло би мотивувати вас купувати більше апсайклінг-виробів?

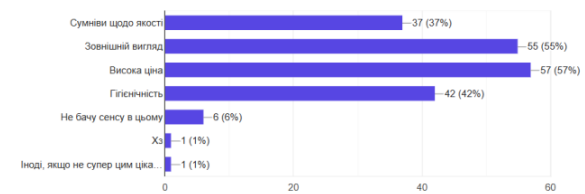
100 відповідей



д

Що може стримувати вас від купівлі апсайклінг речей?

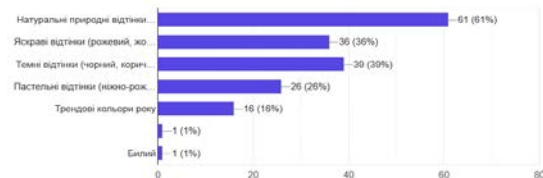
100 відповідей



е

Які кольори найбільше викликають позитивні емоції і бажання купити одяг?

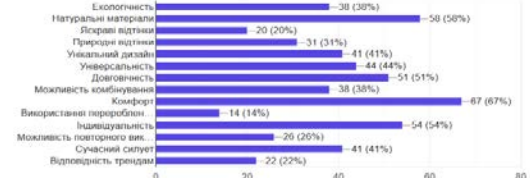
100 відповідей



є

Яким характеристикам має відповідати сучасна колекція одягу та взуття для молоді?

100 відповідей



ж

Рис. 5. Ставлення молоді до апсайклінгу та вимоги до сучасної колекції одягу та взуття (Блок 5):

а – готовність респондентів купувати менше, але більш якісні речі; б – готовність респондентів сплачувати більше за екологічно відповідальні вироби; в – ставлення респондентів до одягу, виготовленого з перероблених матеріалів; г – ставлення респондентів до використання апсайклінг-виробів та речей із секонд-хенду; д – чинники, що можуть мотивувати молодь до придбання апсайклінг-виробів; е – чинники, що стримують молодь від придбання апсайклінг-виробів; є – вподобання в кольорах молодих споживачів при виборі одягу; ж – вимоги молоді до сучасної колекції одягу та взуття.

Отримані результати (Блок 2) свідчать про достатньо активну споживчу поведінку молоді, оскільки більшість респондентів оновлюють гардероб щонайменше один раз на сезон (41%) або щомісяця (36%). При цьому модні тенденції не є визначальним фактором для більшості опитаних (цікавить мода – 14%, інколи цікавить мода – 43%). Основними критеріями для придбання одягу

виступають практична необхідність (56%) та цінкові пропозиції, зокрема розпродажі (57%). Водночас результати свідчать про помітний вплив соціальних трендів на споживчу поведінку (так – 39%, ні – 24%, іноді – 37%), що підтверджує важливість психологічних та маркетингових чинників у процесі формування споживчих рішень молоді.

Аналіз результатів відповідей респондентів щодо відповідності принципам сталого споживання (Блок 3) свідчать про наявність серед молоді таких практик. Більшість респондентів не викидають непотрібний одяг, а передають його родичам і знайомим (58%), продають (28%), передають на благодійність (23%) або здають до спеціальних пунктів збору текстилю (22%). Значна частка опитаних має досвід придбання одягу в секонд-хендах (регулярно купую – 26%, кілька разів купувала – 52%, 1 раз купувала – 19%) та вінтажних речей (регулярно купую – 40%, кілька разів купувала – 20%, 1 раз купувала – 38%, ніколи не купувала – 2%), що свідчить про поступове поширення культури повторного використання одягу. Водночас вироби з перероблених матеріалів та дизайнерський апсайклінг-одяг (ніколи не купувала – 69%, 1 раз купувала – 23%, кілька разів купувала – 7%, регулярно купую – 1%) поки що не набули широкої популярності серед молодих споживачів, що може бути пов'язано з недостатньою поінформованістю або обмеженою доступністю таких товарів на ринку. Разом із тим понад половина респондентів зазначила, що має досвід самостійного оновлення або переробки одягу (так – 63%, ні – 37%), що свідчить про потенційну готовність молоді підтримувати принципи апсайклінгу та відповідального споживання.

Результати опитування сегменту питань (Блоки 4, 5) засвідчили достатньо високий рівень обізнаності респондентів щодо проблематики fast fashion (так – 57%, щось чув – 36%, ні – 7%) та slow fashion (так –

53%, щось чув – 31%, вперше чую – 16%), а також позитивне ставлення до принципів відповідального споживання. Дослідження показало, що молоді споживачі позитивно ставляться до повторного використання одягу (так – 42%, напевно так – 36%, важко відповісти – 17%), виробів із перероблених матеріалів та практик апсайклінгу. Водночас готовність до придбання екологічно відповідальних виробів значною мірою залежить від поєднання екологічних переваг із високою якістю, привабливим дизайном, довговічністю та доступною ціною, адже для покоління зумерів екологічні характеристики поки не є визначальним чинником виробу. Це може бути пов'язано з недостатньою поширеністю та доступністю таких виробів на ринку. Серед основних бар'єрів були визначені: висока вартість продукції (57%), сумніви щодо її зовнішнього вигляду (55%), якості (44%) та гігієнічності (42%). На основі аналізу відповідей респондентів було визначено ключові характеристики, якими, на думку молоді, повинна володіти сучасна колекція одягу та взуття (рис. 6).

Отримані результати стали підґрунтям для формування концепції колекції «Саванна», розробленої на засадах апсайклінгу та принципів сталого розвитку. Виявлені потреби та очікування цільової аудиторії були враховані під час проєктування моделей одягу і взуття, добору матеріалів та формування художньо-конструктивних рішень. Етапи розробки колекції представлено схематично блоками (рис. 7).

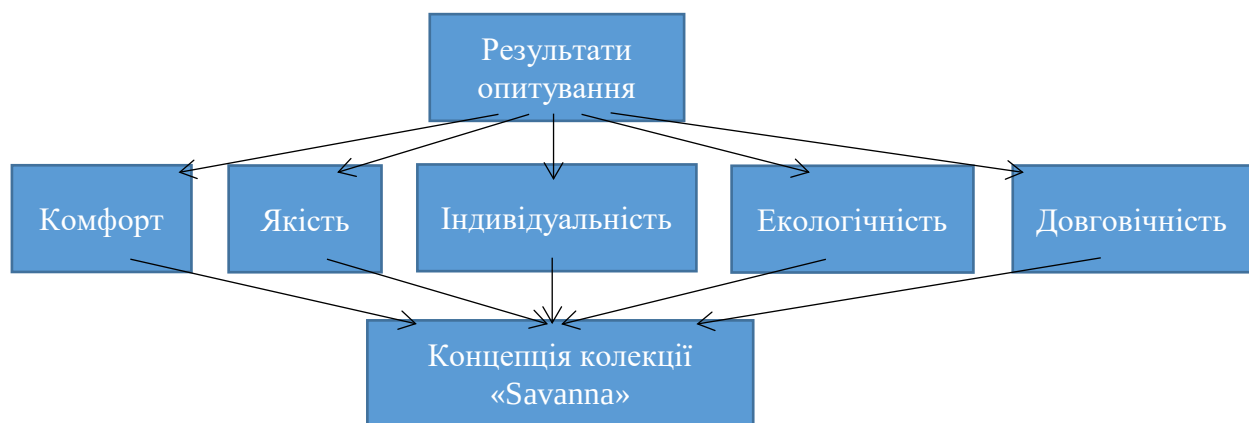
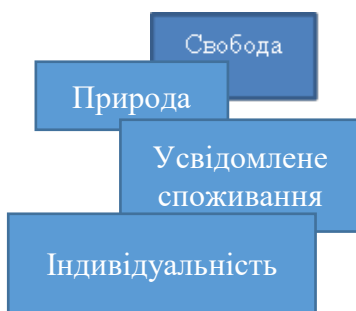


Рис. 6. Вимоги молоді до сучасної колекції одягу та взуття
(автор розробки Обелець А.В.)



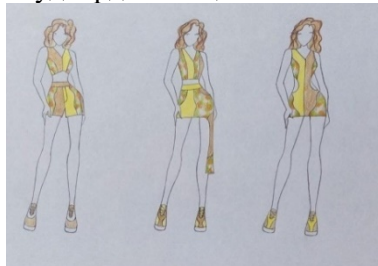
Мудборд колекції «Саванна»



Асоціативний ряд колекції



Колірна гама колекції



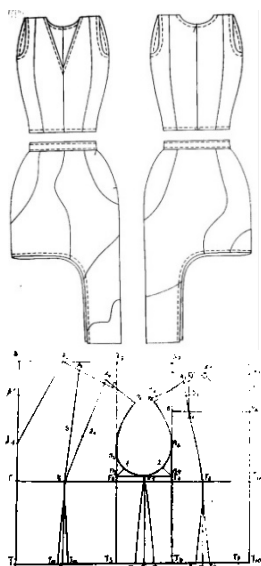
Ескізи розробленої колекції одягу



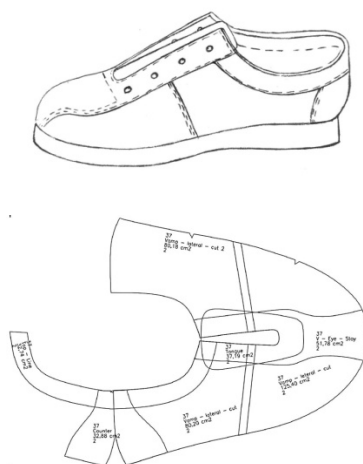
Ескізи розробленої колекції взуття



Матеріали (промислові відходи)



Технічний рисунок виробів та креслення



Візуалізація комплекту готових виробів на моделі

Рис. 7. Візуалізація етапів розробки капсульної колекції «Саванна»
(автор розробки Обелець А.В., науковий керівник Бабич А.І.)

Аналіз індустрії моди як складного соціально-економічного феномена засвідчує, що вона одночасно перебуває під впливом глобальних тенденцій цифровізації, пришвидшення споживання та сталого розвитку, і специфічних національних чинників, зумовлених структурою вітчизняного виробництва та поточними економічними умовами. Саме на перетині цих тенденцій формується актуальність розробки авторських колекцій із застосуванням апсайклінг-технологій, які, з одного боку,

відповідають світовим трендам сталої моди, а з іншого – враховують специфіку малого дрібносерійного виробництва, характерну для української легкої промисловості.

Висновки. Досягнення поставленої мети забезпечено послідовним виконанням трьох взаємопов'язаних етапів дослідження: теоретико-аналітичного опрацювання наукових джерел, емпіричного вивчення споживчих настанов молоді та практичної розробки авторської колекції.

Практичне значення одержаних результатів підтверджено їх апробацією в умовах III Міжнародної науково-практичної конференції «Синергія науки та бізнесу 2026»

(Херсонський національний технічний університет, квітень 2026 р.) та міжнародного конкурсу молодих дизайнерів «Печерські каштани» (КНУТД, 2024 р.).

Література

1. Толуб Н. Що зараз відбувається в українській легкій промисловості та чи реально у ній заробити. 2021. URL: <https://ua-retail.com/2021/03/shho-zaraz-vidbuvayetsya-v-ukrainskij-legkij-promislovosti-ta-chi-realno-u-nij-zarobiti/>
2. Левицький В. О., Кудлак В. Я. Історія та перспективи сучасного розвитку легкої промисловості України. *Актуальні задачі сучасних технологій: матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів* (Тернопіль, 25–26 листопада 2015 р.). Тернопіль, 2015. С. 206–207. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789>.
3. Легка промисловість України: реалії та перспективи. *ilikenews.com.ua*. 2018. URL: <https://uteka.ua/ua/publication/news-14-delovye-novosti-36-legkaya-promyshlennost-ukrainy-realii-i-perspektivy>.
4. Остапенко Н. В., Струмінська Т. В., Колосніченко М. В. Розвиток fashion-індустрії та сучасні завдання у підготовці фахівців галузі. *Індустрія моди. Fashion Industry*. 2023. № 3. С. 53–63. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/25386>.
5. Sustainable Fashion in a Circular Economy. Ed. K. Niinimäki. Helsinki: Aalto University, 2018. 259 p. URL: https://acris.aalto.fi/ws/portalfiles/portal/32741472/sustainable_fashion.pdf.
6. Fletcher K. Sustainable Fashion and Textiles. *Design Journeys*. 2nd ed. London: Routledge, 2014. 288 p. URL: <https://www.routledge.com/Sustainable-Fashion-and-Textiles-Design-Journeys/Fletcher/p/book/9780415644563>.
7. Корсуненко Г., Білоцька Л., Лозовенко С. Аналіз сучасних тенденцій розвитку технологій в індустрії моди. *KyivTex&Fashion: Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн-технологій* (Київ, КНУТД, 19 жовтня 2023 р.). Київ: КНУТД, 2023. С. 198–201. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/25438>.
8. Global Gen Z and Millennial Survey. Deloitte, 2024. URL: <https://www.deloitte.com/southeast-asia/en/about/press-room/g>.
9. Cline E. Overdressed: The Shockingly High Cost of Cheap Fashion. New York: Portfolio, 2012. URL: <https://archive.org/details/overdressedshock0000cline>.
10. Bick R., Halsey E., Ekenga C. C. The global environmental injustice of fast fashion. *Environmental*

References

1. Tolub, N. (2021). Shcho zaraz vidbuvaietsia v ukrainskii lehkii promyslovosti ta chy realno u nii zarobyty [What is currently happening in the Ukrainian light industry and is it possible to make money in it]. URL: <https://ua-retail.com/2021/03/shho-zaraz-vidbuvayetsya-v-ukrainskij-legkij-promislovosti-ta-chi-realno-u-nij-zarobiti/> [in Ukrainian].
2. Levytskyi, V. O., & Kudlak, V. Ya. (2015). Istoriia ta perspektyvy suchasnoho rozvytku lehkoii promyslovosti Ukrainy [History and prospects of the modern development of Ukraine's light industry]. *Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii: materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv* (pp. 206–207). Ternopil, 2015. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789> [in Ukrainian].
3. ilikenews.com.ua (2018). Lehka promyslovist Ukrainy: realii ta perspektyvy [Ukraine's Light Industry: Realities and Prospects]. URL: <https://uteka.ua/ua/publication/news-14-delovye-novosti-36-legkaya-promyshlennost-ukrainy-realii-i-perspektivy> [in Ukrainian].
4. Ostapenko, N. V., Struminska, T. V., & Kolosnichenko, M. V. (2023). Rozvytok fashion-industrii ta suchasni zavdannia u pidhotovtsi fakhivtsiv haluzi [Development of the fashion industry and contemporary challenges in training specialists for the sector]. *Industriia mody. Fashion Industry*, 3, 53–63. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/25386> [in Ukrainian].
5. Niinimäki, K. (ed.) (2018). Sustainable Fashion in a Circular Economy. Helsinki: Aalto University. 259 p. URL: https://acris.aalto.fi/ws/portalfiles/portal/32741472/sustainable_fashion.pdf.
6. Fletcher, K. (2014). Sustainable Fashion and Textiles. *Design Journeys* (2nd ed.). London: Routledge. 288 p. <https://www.routledge.com/Sustainable-Fashion-and-Textiles-Design-Journeys/Fletcher/p/book/9780415644563>.
7. Korsunen, H., Bilotska, L., & Lozovenko, S. (2023). Analiz suchasnykh tendentsii rozvytku tekhnolohii v industrii mody. [Analysis of current technology development trends in the fashion industry]. *KyivTex&Fashion: Materialy VII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii tekstylnykh ta feshn-tekhnolohii*, Kyiv, KNUITD. 2023. S.198-201. <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/25438> [in Ukrainian].
8. Deloitte (2024). Global Gen Z and Millennial Survey. URL: <https://www.deloitte.com/southeast-asia/en/about/press-room/g>
9. Cline, E. (2012). Overdressed: The Shockingly High Cost of Cheap Fashion. New York: Portfolio. URL: <https://archive.org/details/overdressedshock0000cline>.
10. Bick, R., Halsey, E., & Ekenga, C. (2018). The global environmental injustice of fast fashion.

Health. 2018. Vol. 17 (1). P. 4. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0433-7>.

11. Богданова О., Кузьміна Т., Бабіч С., Тіхосова Г. Основи стандартизації і сертифікації продукції легкої промисловості: підручник. Київ: Видавничий дім "Кондор", 2013. 482 с. URL: <https://www.yakaboo.ua/ua/standartizacija-i-sertifikacija-produkcii-legkoi-promislovosti-pidruchnik.html>.

12. Про затвердження Правил роздрібної торгівлі непродовольчими товарами: Наказ Міністерства економіки України № 1130 від 16.06.2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-07#Text>.

13. Сухорукова Г. Стан легкої промисловості в Україні: виклики та перспективи. 2025. URL: <https://hub.kyivstar.ua/articles/stan-legkoyi-promislovosti-v-ukrayini-vikliki-ta-perspektivi>.

14. Ковальська Л. Л., Кривов'язюка І. В. Економіка підприємства: підручник. Київ: Видавничий дім "Кондор", 2020. 700 с.

15. Білик М. Д., Білик Т. О. Фінансові результати діяльності малих підприємств: оцінка та прогнозування: монографія. Київ: ТОВ "ПанТот", 2012. 280 с. URL: <https://ir.kneu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/f57f71bd-be10-4b5b-b910-6bbf1c92cad2/content>.

16. Плахотна О. С. Формування асортименту виробів легкої промисловості: навч. посібник. Київ: КНУТД, 2014. 210 с.

17. Величко О. М., Кучерук В. Ю., Гордієнко Т., Севастьянова В. Основи стандартизації та сертифікації: підручник. Київ: Вид-во: "Університетська книга", 2025. 364 с.

18. Фесюк В. О. Методологія і організація наукових досліджень: навч. посібник. Луцьк: ПП Іванюк В. П., 2022. 126 с. URL: <https://evnuir.vnu.edu.ua/server/api/core/bi>.

19. Бондаренко С. Використання нормального розподілу в управлінні якістю на підприємстві легкої промисловості. *Економіка та суспільство*. 2021. № 3 (32). С. 2–18. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-32-71>.

20. Котлер Ф., Армстронг Г. Основи маркетингу: підручник. Київ: Діалектика, 2020. 800 с. URL: https://odyssey.kiev.ua/product_1459295.html.

21. Колодяжна А. В., Обелець А. В. Стиль апсайклінгу як психологічний фактор привабливості у споживачів в умовах зростання fast-fashion. *KyivTex&Fashion: матеріали IX Міжнар. наук.-практ. конф.* (Київ, 21 жовтня 2025 року). Київ: КНУТД, 2025. URL: <https://kyivtexfashion.knutd.edu.ua/>

Environmental Health, 17(1), 4. DOI: [10.1186/s12940-018-0433-7](https://doi.org/10.1186/s12940-018-0433-7).

11. Bohdanova, O., Kuzmina, T., Babich, S., & Tikhosova, H. (2013). *Osnovy standartyzatsii i sertyfikatsii produktsii lehkoi promyslovosti* [Fundamentals of Standardization and Certification of Light Industry Products]. Kyiv: Vydavnychiy dim "Kondor". 482 p. URL: <https://www.yakaboo.ua/ua/standartizacija-i-sertifikacija-produkcii-legkoi-promislovosti-pidruchnik.html> [in Ukrainian].

12. Pro zatverdzhennia Pravyly rozdribnoi torhivli neprodovolchymy tovaramy [On Approval of the Rules for Retail Trade in Non-Food Goods: Order of the Ministry of Economy of Ukraine No. 1130 dated June 16, 2020.]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-07#Text>.

13. Sukhorukova, H. (2025). Stan lehkoi promyslovosti v Ukraini: vyklyky ta perspektyvy [The State of the Light Industry in Ukraine: Challenges and Prospects]. URL: <https://hub.kyivstar.ua/articles/stan-legkoyi-promislovosti-v-ukrayini-vikliki-ta-perspektivi> [in Ukrainian].

14. Kovalska, L. L., & Kryvoviazuka, I. V. (2020). *Ekonomika pidpryemstva* [Enterprise Economics]. Kyiv: Vydavnychiy dim "Kondor". 700 p. [in Ukrainian].

15. Bilyk, M. D., & Bilyk, T. O. (2012). *Finansovi rezultaty diialnosti malykh pidpryemstv: otsinka ta prohnouzuvannia* [Financial results of small enterprises' operations]. Kyiv: TOV "PanTot". 280 p. URL: <https://ir.kneu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/f57f71bd-be10-4b5b-b910-6bbf1c92cad2/content> [in Ukrainian].

16. Plakhotna, O. S. (2014). *Formuvannia asortymentu vyrobiv lehkoi promyslovosti* [Developing the product assortment for the light industry]. Kyiv: KNUITD. 210 p. [in Ukrainian].

17. Velychko, O., Kucheruk, V., Hordiienko, T., & Sevastianova, V. (2025). *Osnovy standartyzatsii ta sertyfikatsii* [Fundamentals of Standardization and Certification]. Kyiv: Vyd-vo: Universytetska knyha. 364 p. [in Ukrainian].

18. Fesiuk, V. O. (2022). *Metodolohiia i orhanizatsiia naukovykh doslidzhen* [Methodology and Organization of Scientific Research]. Luts'k: PP Ivaniuk V. 126 p. URL: <https://evnuir.vnu.edu.ua/server/api/core/bi> [in Ukrainian].

19. Bondarenko, S. (2021). *Vykorystannia normalnoho rozpodilu v upravlinni yakisti na pidpryemstvi lehkoi promyslovosti* [Application of the Normal Distribution in Quality Management at a Light Industry Enterprise]. *Ekonomika ta suspilstvo*, 3(32), 2–18. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-32-71> [in Ukrainian].

20. Kotler, F., & Armstronh, H. (2020). *Osnovy marketynhu* [Fundamentals of Marketing]. Kyiv: Dialektyka. 800 p. URL: https://odyssey.kiev.ua/product_1459295.html [in Ukrainian].

21. Kolodiazna, A. V., & Obelets, A. V. (2025). *Styl apsaiklinhu yak psykholohichniy faktor pryvabyvosti u spozhyvachivv umovakh zrostannia fast-fashion* [The Upcycling Style as a Psychological Factor of Consumer Appeal Amid the Rise of Fast Fashion]. *KyivTex&Fashion: materialy IKh Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* (Kyiv, 21 zhovtnia 2025 roku). Kyiv, KNUITD [in Ukrainian].

ВОЛЯНИК ОЛЕКСІЙ

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

e-mail: volyanyk.oy@knutd.edu.ua<https://orcid.org/0000-0002-7278-0910>**НОСОВ ОЛЕКСІЙ**

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

e-mail: nosov.ov@knutd.edu.ua<https://orcid.org/0009-0009-1105-7532>

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ЗАСТОСУВАННЯ МАГНІТНИХ ПІДШИПНИКІВ У РОЛИКОВИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ ПІДПРИЄМСТВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Мета. Аналіз перспектив застосування магнітних підшипників у роликівих системах підприємств легкої промисловості, визначення переваг та обмежень їх використання порівняно з традиційними опорами.

Методика. Використано методи аналізу, систематизації та узагальнення науково-технічної інформації щодо роликівих транспортних систем і магнітних підшипників. Класифіковано магнітні опори та проведено порівняльний аналіз традиційних і магнітних підшипникових вузлів за навантажувальною здатністю, опором обертанню, зношуванню, ресурсом, потребою в технічному обслуговуванні та конструктивною складністю. З урахуванням умов експлуатації визначено фактори, що впливають на перспективність застосування магнітних підшипників на підприємствах легкої промисловості.

Результати. Систематизовано критерії оцінювання опор з урахуванням переміщення тари, коробок, рулонних матеріалів та інших штучних вантажів на підприємствах легкої промисловості. Визначено, що найбільший потенціал для гравітаційних рольгангів і ділянок із підвищеними вимогами до чистоти мають пасивні та комбіновані опори.

Наукова новизна. Запропоновано систему критеріїв порівняння традиційних і магнітних опор з урахуванням особливостей внутрішньовиробничого транспорту легкої промисловості; визначено межі перенесення результатів досліджень роликів стрічкових конвеєрів на рольганги для штучних вантажів.

Практична значимість. Результати дослідження можуть бути використані під час вибору підшипникових опор для роликівих транспортних систем підприємств легкої промисловості. Визначено умови, за яких застосування магнітних опор доцільно перевірити у гравітаційних рольгангах для переміщення легких штучних вантажів та на ділянках із підвищеними вимогами до чистоти продукції.

Ключові слова: магнітний підшипник; роликів транспортна система; роликів конвеєр; внутрішньовиробничий транспорт; легка промисловість.

ANALYSIS OF THE PROSPECTS FOR USING MAGNETIC BEARINGS IN ROLLER CONVEYOR SYSTEMS AT LIGHT INDUSTRY ENTERPRISES

VOLIANYK OLEKSII, NOSOV OLEKSII

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

Purpose. To assess the prospects for using magnetic bearings in these systems and to identify their advantages and limitations compared with conventional bearing supports.

Methodology. Scientific and technical information on roller conveyor systems and magnetic bearings was analysed, systematised and generalised. Magnetic bearing supports were classified, and conventional and magnetic bearing assemblies were compared in terms of load capacity, rotational resistance, wear, service life, maintenance requirements and structural complexity. Factors affecting the prospects for using magnetic bearings at light industry enterprises were identified with regard to operating conditions.

Results. Criteria for assessing bearing supports were systematised with regard to the transport of containers, boxes, rolled materials and other discrete loads at light industry enterprises. Passive and hybrid supports were found to have the greatest potential for gravity roller conveyors and sections with stricter cleanliness requirements.

Scientific novelty. A set of criteria is proposed for comparing conventional and magnetic supports in view of the specific conditions of in-plant material handling in light industry. The limits of applying findings from studies of belt conveyor rollers to roller conveyors handling discrete loads are identified.

Practical significance. The findings can be used when selecting bearing supports for roller conveyor systems at light industry enterprises. Conditions have been identified under which magnetic supports warrant testing in gravity roller conveyors handling light discrete loads and in sections with stricter product cleanliness requirements.

Keywords: magnetic bearing; roller conveyor system; roller conveyor; intralogistics; light industry.

Вступ. Роликові транспортні системи широко застосовуються для внутрішньовиробничого переміщення штучних вантажів, тари, напівфабрикатів, рулонних матеріалів та готової продукції. На підприємствах легкої промисловості такі системи можуть бути складовими технологічних, складських, пакувальних і логістичних комплексів у текстильному, швейному, взуттєвому та інших виробництвах [1–3]. Простота конструкції, можливість компонування транспортних трас різної конфігурації та інтеграції з автоматизованим обладнанням забезпечують широкі можливості використання роликових конвеєрів і рольгангів у сучасних виробничих системах. У гравітаційних конвеєрах для регулювання руху вантажу застосовують, зокрема, гальмівні ролики [4].

Одним із елементів, що визначає експлуатаційні характеристики роликової транспортної системи, є підшипниковий вузол ролика. У більшості традиційних конструкцій застосовуються підшипники кочення, характеристики яких впливають на опір обертанню ролика, величину пускового моменту, ресурс, рівень вібрацій і шуму, а також потребу в технічному обслуговуванні [5–7]. Особливої уваги ці фактори набувають у системах із великою кількістю роликів, де сумарні втрати в окремих опорах можуть

впливати на енергетичні та експлуатаційні показники транспортного обладнання.

Перспективним напрямом удосконалення опор роликів вважають магнітну підтримку: зменшення контакту може скорочувати механічні втрати, зношування та потребу в змащуванні [8–12]. Однак переваги залежать від робочого навантаження, стійкості ролика, складності конструкції та вартості опори.

Магнітні опори та системи магнітної левітації вже досліджуються для різних транспортних і конвеєрних систем, у тому числі для зниження опору руху та створення безконтактної підтримки рухомих елементів [13–15]. Умови роботи рольганга відрізняються від умов стрічкового конвеєра, тому результати таких досліджень слід оцінювати з урахуванням навантаження, швидкості, частоти пусків і вимог до надійності. Для підприємств легкої промисловості додаткового значення можуть набувати вимоги до чистоти виробничого середовища, мінімізації забруднення продукції мастильними матеріалами, зниження шуму та інтеграції транспортних пристроїв до автоматизованих виробничих і логістичних систем.

Таким чином, актуальним є комплексний аналіз технічних передумов, переваг та обмежень використання різних типів магнітних підшипників у роликових транспортних системах підприємств легкої промисловості

з визначенням напрямів, у яких їх застосування може бути найбільш перспективним.

Метою дослідження є аналіз перспектив застосування магнітних підшипників у роликів транспортних системах підприємств легкої промисловості, визначення технічних передумов, потенційних переваг та обмежень їх використання порівняно з традиційними підшипниковими опорами.

Аналіз попередніх досліджень. Праці українських дослідників окреслюють об'єкти та схеми внутрішньовиробничого транспорту легкої промисловості: взуттєве виробництво розглянуто в [1; 2], а застосування роликів конвеєрів у підготовчому цеху швейного підприємства – у [3]. У праці [4] описано конструкції гальмівних роликів гравітаційних конвеєрів, зокрема магнітних. Вони створюють гальмівний момент і виконують іншу функцію, ніж магнітна опора ролика.

Дослідження традиційних конвеєрних роликів пов'язують опір руху з параметрами ролика й опорного вузла [5]. У роботах [5; 6] вивчається опір обертанню роликів і способи його експериментального визначення. Аналіз відмов підшипників конвеєрних роликів показує важливість умов експлуатації, герметизації та зношування [7]. Ці роботи задають критерії, за якими слід порівнювати механічну й магнітну опори.

Дослідження [8–12] показують залежність силових характеристик і стійкості магнітних опор від геометрії, зазору та способу стабілізації. Ці параметри потрібно враховувати під час оцінювання роликів систем.

Для конвеєрного обладнання запропоновано пасивну систему магнітної левітації [13] та досліджено вплив зазору і навантаження на магнітну підтримку стрічки [14]. У роботі [15] описано ролик стрічкового конвеєра з радіальною магнітною опорою; його осьове переміщення обмежене механічними елементами. Оскільки в рольгангах для штучних вантажів відрізняються навантаження, режим пусків і контакт вантажу з роликами, такі стрічкові конвеєри потребують додаткового аналізу для застосування на підприємствах легкої промисловості.

Постановка завдання. Незважаючи на наявність значної кількості досліджень, присвячених удосконаленню роликів транспортних систем, зниженню опору обертанню роликів та розробленню магнітних підшипників різних типів, питання їх застосування саме в роликів транспортних системах підприємств легкої промисловості залишається недостатньо дослідженим. Існуючі роботи щодо використання магнітної левітації в транспортному обладнанні переважно орієнтовані на стрічкові конвеєри та спеціалізовані транспортні системи, умови роботи яких суттєво відрізняються від умов експлуатації рольгангів та інших роликів транспортних пристроїв для переміщення штучних вантажів.

Завданням роботи є порівняння традиційних і магнітних опор роликів за навантажувальною здатністю, опором обертанню, стійкістю, ресурсом, потребою в обслуговуванні та конструктивною складністю з урахуванням умов експлуатації на підприємствах легкої промисловості.

Результати дослідження та обговорення. Роликові транспортні системи використовуються для переміщення переважно штучних вантажів і можуть виконувати функції основного, проміжного або допоміжного внутрішньовиробничого транспорту. Роликові секції можуть входити до складу технологічних і логістичних ліній, використовуватися для передачі вантажів між окремими видами обладнання, накопичення продукції, виконання завантажувально-розвантажувальних операцій та організації складських потоків. У загальній класифікації внутрішньовиробничого транспорту роликів конвеєри належать до поширених засобів безперервного переміщення штучних вантажів і можуть виконуватися як неприводними, так і приводними.

Для підприємств легкої промисловості використання роликів транспортних систем пов'язане насамперед із переміщенням тари, коробок, ящиків, контейнерів, піддонів, рулонних матеріалів, напівфабрикатів та готової продукції. Зокрема, у дослідженнях транспортно-логістичного обладнання сучасного швейного підприємства [3] роликів конвеєри розглядаються як складова

внутрішньовиробничої логістики та рекомундуються для переміщення коробок, ящиків, мішків, піддонів, рулонів та інших штучних вантажів у виробничих і складських приміщеннях. Разом з тим аналогічні функції внутрішнього транспортування та перевантаження характерні й для інших виробництв галузі легкої промисловості, що обумовлює доцільність розгляду роликів систем не в межах окремого технологічного процесу, а як елементу внутрішньовиробничої транспортно-логістичної системи.

За способом приведення роликів у рух виокремлено основні групи – неприводні (гравітаційні) та приводні роликові конвеєри. У неприводних системах обертання роликів і переміщення вантажу відбуваються під дією складової сили ваги на похилій трасі або внаслідок зовнішнього прикладеного зусилля. У приводних системах обертання частини або всіх роликів забезпечується приводом через відповідну механічну передачу. За конфігурацією траси роликові системи можуть мати прямолінійні, поворотні та комбіновані ділянки. Така різноманітність конструкцій обумовлює відмінності у вимогах до опор роликів залежно від функціонального призначення конкретної транспортної системи.

Підшипниковий вузол передає навантаження від вантажу й ролика на раму конвеє-

ра. Від його конструкції залежать опір обертанню, стійкість ролика та потреба в обслуговуванні. Для порівняння з магнітною опорою важливі характеристики не лише підшипника, а й вузла в зборі. Особливого значення опір обертанню набуває для неприводних систем, де рушійна сила обмежена силою ваги вантажу або зусиллям оператора і не компенсується безпосереднім приводом кожного ролика.

На основі аналізу конструкцій і умов функціонування роликів транспортних систем можна виділити сукупність вимог, які є визначальними при оцінюванні можливості використання альтернативних підшипникових опор. До них належать здатність сприймати робоче навантаження, низький опір обертанню, забезпечення стійкого положення ролика, достатній ресурс, низька інтенсивність зношування, мінімальна потреба у технічному обслуговуванні, конструктивна простота та прийнятна вартість. Для окремих умов виробництва додаткового значення можуть набувати відсутність потреби у змащуванні, зменшення шуму і вібрацій, стійкість до забруднення та можливість роботи в умовах підвищених вимог до чистоти.

З точки зору подальшого аналізу перспектив застосування магнітних підшипників зазначені вимоги доцільно об'єднати у декілька груп (Табл. 1).

Таблиця 1

Основні критерії оцінювання підшипникових опор роликів транспортних систем

№	Група критеріїв	Основні характеристики
1	Навантажувальні	радіальна та осьова навантажувальна здатність; жорсткість опори; здатність сприймати змінні навантаження
2	Кінематичні та силові	опір початку руху; опір усталеному обертанню; допустима частота обертання; стабільність положення ролика
3	Динамічні	рівень вібрацій і шуму; поведінка при зміні навантаження
4	Експлуатаційні	ресурс; зношування; потреба у змащуванні; періодичність технічного обслуговування; надійність
5	Конструктивно-технологічні	габарити; складність конструкції; можливість інтеграції в типову конструкцію ролика; технологічність виготовлення і монтажу
6	Енергетичні	механічні втрати; додаткове енергоспоживання; необхідність постійного живлення
7	Виробничі умови	вплив пилу, волокон, вологи та температури; вимоги до чистоти виробничого середовища

Наведена система критеріїв показує, що оцінювання перспективності магнітних підшипників у роликів транспортних

системах не може ґрунтуватися лише на можливості зменшення тертя. Для транспортного обладнання масового застосування

суттєвими є також навантажувальна здатність, стійкість обертового елемента, конструктивна складність, надійність та вартість. Водночас специфіка окремих виробництв легкої промисловості може підвищувати значущість таких властивостей, як чистота і відсутність мастильних матеріалів, низький рівень зношування та зменшена потреба у технічному обслуговуванні.

Підшипники кочення залишаються основним типом опор роликів транспортних систем завдяки відпрацьованій конструкції, високій навантажувальній здатності, стандартизації та відносно невисокій вартості. Опір обертанню залежить також від ущільнень, мастила, внутрішнього зазору, навантаження й температури. Експериментальні дослідження показують, що для роликів однакової конструкції зміна типу та параметрів підшипникового вузла може суттєво впливати на опір обертанню. Зокрема, у роботі [5] для досліджених конструкцій отримано значення опору від 1,9 до 6,7 Н залежно від параметрів підшипникового вузла.

Ця обставина має принципове значення для оцінювання магнітних підшипників. Їх

доцільність необхідно визначати не порівняно з довільною традиційною конструкцією, а з раціонально підібраним підшипником кочення, оскільки частина втрат може бути зменшена шляхом удосконалення традиційного опорного вузла. Відповідно, сам факт наявності механічного контакту в підшипнику кочення ще не є достатньою підставою для його заміни магнітною опорою.

Основною потенційною перевагою магнітних підшипників є можливість повного або часткового усунення механічного контакту між обертовими та нерухомими елементами. Для пасивних постійно-магнітних опор це може зменшувати складову опору, пов'язану з контактом у підшипнику, і потребу в змащуванні безконтактної частини опори. У досліді [15] порогова маса підвісного вантажу, за якої починалося обертання ролика, становила в середньому 150 г для ролика з магнітною опорою та 200 г для порівнюваного ролика з механічною опорою (рис. 1). Різниця становила 50 г, або 25% від значення для механічної опори.

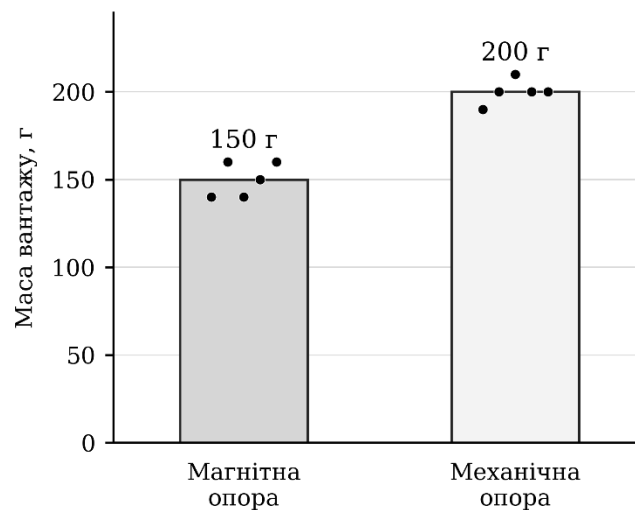


Рис. 1. Порогова маса підвісного вантажу для початку обертання ролика з магнітною та механічною опорами (за даними [15]; точки – окремі вимірювання, $n = 5$ для кожної опори)

Наведений результат підтверджує принципову можливість зменшення опору обертанню за допомогою магнітної підтримки, однак не може безпосередньо переноситися на роликові транспортні системи підприємств легкої промисловості.

У дослідженій конструкції магнітна опора сприймала радіальне навантаження, тоді як осьове положення ролика забезпечувалося механічними елементами. Крім того, необхідна радіальна сила понад 120 Н забезпечувалася шістьма парами кільцевих

магнітів при повітряному зазорі 1 мм, що демонструє залежність навантажувальної здатності від габаритів і параметрів магнітної системи.

Для рольгангів вирішальними можуть бути опір початку руху, ресурс, чистота та витрати на обслуговування. Тому висновки, отримані для високошвидкісних роторів, слід перевіряти в режимі роботи конкретної транспортної лінії.

У гравітаційному рольгангу зменшення пускового опору потенційно полегшує рух легких вантажів, але це потрібно перевірити за робочого навантаження й заданого ухилу. Для приводної лінії необхідно визначити частку втрат в опорах роликів у загальному енергоспоживанні разом із втратами привода й передачі.

Для підприємств легкої промисловості вибір опори слід пов'язувати з конкретним транспортованим об'єктом: коробками з готовою продукцією, тарою з напівфабрикатами або упакованими рулонними матеріалами. На ділянках переміщення легких штучних вантажів важливо перевірити вплив опору роликів на початок руху; для важкої тари визначальними стають несуча здатність і стійкість опори. Поблизу технологічних та пакувальних операцій окремим критерієм є ризик потрапляння мастила на матеріали чи вироби.

У транспортних лініях із великою кількістю роликів або підвищеними вимогами до чистоти зменшення контактного зношування та потреби в мастилі може мати самостійну експлуатаційну цінність. Проте ресурс і чистоту необхідно оцінювати для повного опорного вузла: допоміжні механічні елементи можуть потребувати обслуговування й змащування. Можливий вплив магнітної опори на шум і вібрації також потребує вимірювання на готовому конвеєрі, де діють привод і контакт вантажу з роликами.

Для типових рольгангів пріоритетними для перевірки є конструкції без постійного живлення, у яких магнітна система сприймає

частину навантаження. Їх застосування обмежують стійкість ролика, несуча здатність, габарити магнітів і вартість. Використання опор з активним керуванням може бути виправданим у спеціалізованому обладнанні, якщо керування положенням ролика є окремою технологічною вимогою.

Висновки.

1. Аналіз пасивних, активних і гібридних магнітних підшипників показав, що їх використання потенційно дозволяє зменшити або усунути механічний контакт в опорі, знизити інтенсивність зношування та потребу у змащуванні. Водночас практичне застосування магнітних опор обмежується необхідністю забезпечення стійкого положення ролика, достатньої навантажувальної здатності, конструктивного розміщення магнітних елементів, а також їх вартістю.

2. Найбільший потенціал для застосування в роликівих транспортних системах мають пасивні та комбіновані магнітні опори, які дають можливість використати переваги безконтактного або частково безконтактного сприйняття навантаження без суттєвого ускладнення системи керування. Повністю активні магнітні підшипники для стандартних роликівих конвеєрів мають обмежену перспективність через необхідність використання електромагнітів, датчиків, силової електроніки та систем автоматичного керування.

3. Найбільш перспективними умовами застосування магнітних підшипників визначено гравітаційні рольганги, системи з підвищеними вимогами до чистоти виробничого середовища, а також транспортні системи, для яких зменшення опору руху, зношування та обсягів технічного обслуговування має підвищену експлуатаційну значущість. Для звичайних роликівих конвеєрів загального призначення доцільність використання магнітних підшипників значною мірою визначатиметься співвідношенням отриманого технічного ефекту та збільшення вартості опорного вузла.

Література

1. Ковальов Ю. А., Плешко С. А., Лавренчук В. І. Аналіз об'єктів транспортування в логістичних системах

References

1. Kovalov, Yu. A., Pleshko, S. A., & Lavrenchuk, V. I. (2016). Analiz ob'ektiv transportuvannia v lohistychnykh systemakh vzuttievroho vyrobnytstva [Analysis of

взуттєвого виробництва. *Легка промисловість*. 2016. № 2. С. 25–27. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/2000>.

2. Ковальов Ю. А., Плешко С. А., Лавренчук В. І. Стан і аналіз логістичних схем вантажопотоків взуттєвих підприємств. *Легка промисловість*. 2016. № 3. С. 31–33. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/7052>.

3. Рубанка М. М., Ковальов Ю. А., Рубанка А. І. Інноваційні технології при виготовленні швейних виробів: обладнання підготовчого цеху. *Технології та інжиніринг*. 2023. № 4 (15). С. 38–52. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.4.4>.

4. Ковальов Ю. А., Плешко С. А., Рубанка М. М., Савенко А. А. Аналіз конструкцій гальмівних роликів гравітаційних конвеєрів. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС–2023): матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції, Чернігів, 25–26 травня 2023 р. Чернігів: НУ "Чернігівська політехніка", 2023. Т. 1. С. 75–77. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/23550>.*

5. Kulinowski P., Kasza P., Zarzycki J. Influence of Design Parameters of Idler Bearing Units on the Energy Consumption of a Belt Conveyor. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, No. 1. Art. 437. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13010437>.

6. Kulinowski P., Kasza P., Zarzycki J. Methods of Testing of Roller Rotational Resistance in Aspect of Energy Consumption of a Belt Conveyor. *Energies*. 2023. Vol. 16, No. 1. Art. 26. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16010026>.

7. Vasić M., Stojanović B., Blagojević M. Failure analysis of idler roller bearings in belt conveyors. *Engineering Failure Analysis*. 2020. Vol. 117. Art. 104898. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104898>.

8. Paden B., Groom N. J., Antaki J. F. Design Formulas for Permanent-Magnet Bearings. *Journal of Mechanical Design*. 2003. Vol. 125, No. 4. P. 734–738. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.1625402>.

9. Ravaud R., Lemarquand G., Lemarquand V. Force and Stiffness of Passive Magnetic Bearings Using Permanent Magnets. Part 1: Axial Magnetization. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2009. Vol. 45, No. 7. P. 2996–3002. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2009.2016088>.

10. Ravaud R., Lemarquand G., Lemarquand V. Force and Stiffness of Passive Magnetic Bearings Using Permanent Magnets. Part 2: Radial Magnetization. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2009. Vol. 45, No. 9. P. 3334–3342. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2009.2025315>.

11. Hamler A., Goričan V., Štumberger B., Jesenik M., Trlep M. Passive magnetic bearing. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2004. Vol. 272–276. P. 2379–2380. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2003.12.972>.

12. Vennemann J. Super Twisting Sliding Mode Control with Compensated Current Controller Dynamics on Active Magnetic Bearings with Large Air Gap.

transportation objects in logistics systems of footwear production]. *Lehka promyslovist*, 2, 25–27. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/2000> [in Ukrainian].

2. Kovalov, Yu. A., Pleshko, S. A., & Lavrenchuk, V. I. (2016). Stan i analiz lohystychnykh skhem vantazhopotokiv vzuttyevykh pidpriemstv [State and analysis of logistics schemes of cargo flows of footwear enterprises]. *Lehka promyslovist*, 3, 31–33. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/7052> [in Ukrainian].

3. Rubanka, M. M., Kovalov, Yu. A., & Rubanka, A. I. (2023). Innovatsiini tekhnolohii pry vyhotovlenni shveinykh vyrobiv: obladnannia pidhotovchoho tsekhу [Innovative technologies in the production of sewing products: preparation department equipment]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh*, 4 (15), 38–52. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.4.4> [in Ukrainian].

4. Kovalov, Yu. A., Pleshko, S. A., Rubanka, M. M., & Savenko, A. A. (2023). Analiz konstrukttsii halmivnykh rolykiv hravitatsiinykh konveieriv [Analysis of brake roller designs for gravity conveyors]. *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system (KZiaTPS–2023): materialy tez dopovidei XIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, Chernihiv, 25–26 travnia 2023 r. (Vol. 1. pp. 75–77). Chernihiv: NU "Chernihivska politehnika". URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/23550> [in Ukrainian].*

5. Kulinowski, P., Kasza, P., & Zarzycki, J. (2021). Influence of Design Parameters of Idler Bearing Units on the Energy Consumption of a Belt Conveyor. *Sustainability*, 13 (1), 437. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13010437>.

6. Kulinowski, P., Kasza, P., & Zarzycki, J. (2023). Methods of Testing of Roller Rotational Resistance in Aspect of Energy Consumption of a Belt Conveyor. *Energies*, 16 (1), 26. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16010026>.

7. Vasić, M., Stojanović, B., & Blagojević, M. (2020). Failure analysis of idler roller bearings in belt conveyors. *Engineering Failure Analysis*, 117, 104898. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104898>.

8. Paden, B., Groom, N. J., & Antaki, J. F. (2003). Design Formulas for Permanent-Magnet Bearings. *Journal of Mechanical Design*, 125(4), 734–738. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.1625402>.

9. Ravaud, R., Lemarquand, G., & Lemarquand, V. (2009). Force and Stiffness of Passive Magnetic Bearings Using Permanent Magnets. Part 1: Axial Magnetization. *IEEE Transactions on Magnetics*, 45 (7), 2996–3002. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2009.2016088>.

10. Ravaud, R., Lemarquand, G., & Lemarquand, V. (2009). Force and Stiffness of Passive Magnetic Bearings Using Permanent Magnets. Part 2: Radial Magnetization. *IEEE Transactions on Magnetics*, 45 (9), 3334–3342. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2009.2025315>.

11. Hamler, A., Goričan, V., Štumberger, B., Jesenik, M., & Trlep, M. (2004). Passive magnetic bearing. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, (272–276), 2379–2380. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2003.12.972>.

12. Vennemann, J. (2023). Super Twisting Sliding Mode Control with Compensated Current Controller Dynamics on Active Magnetic Bearings with Large Air

Electronics. 2023. Vol. 12, No. 4. Art. 950. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics12040950>.

13. Ohji T., Ichiyama S., Amei K., Sakui M., Yamada S. A new conveyor system based on a passive magnetic levitation unit having repulsive-type magnetic bearings. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2004. Vol. 272–276. P. E1731–E1733. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2003.12.984>.

14. Wang S., Hu K., Li D.-Y. Analysis and experimental research on air gap characteristics of permanent magnet low-resistance belt conveyor. *IET Science, Measurement & Technology*. 2018. Vol. 12, No. 4. P. 472–478. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2017.0269>.

15. Wu H., Ren Y., Yang S., Wang N., Song C., Hu Y. Design of Permanent Magnet Levitation Roller for Belt Conveyor. *Proceedings of the 15th International Symposium on Magnetic Bearings* (ISMB15). 2016. P. 805–810. URL: https://www.magneticbearings.org/app/uploads/publications/ismb15/ismb15_submission_107.pdf.

Gap. *Electronics*, 12 (4), 950. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics12040950>.

13. Ohji, T., Ichiyama, S., Amei, K., Sakui, M., & Yamada, S. (2004). A new conveyor system based on a passive magnetic levitation unit having repulsive-type magnetic bearings. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, (272–276), E1731–E1733. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2003.12.984>.

14. Wang, S., Hu, K., & Li, D.-Y. (2018). Analysis and experimental research on air gap characteristics of permanent magnet low-resistance belt conveyor. *IET Science, Measurement & Technology*, 12 (4), 472–478. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2017.0269>.

15. Wu, H., Ren, Y., Yang, S., Wang, N., Song, C., & Hu, Y. (2016). Design of Permanent Magnet Levitation Roller for Belt Conveyor. *Proceedings of the 15th International Symposium on Magnetic Bearings* (ISMB15) (pp. 805–810). URL: https://www.magneticbearings.org/app/uploads/publications/ismb15/ismb15_submission_107.pdf.



TEX & *Fashion* KYIV

Х Міжнародна
науково-практична
конференція
текстильних та
фешн-технологій

15 жовтня 2026 р.

КНУТД • ФАКУЛЬТЕТ МИСТЕЦТВ І МОДИ

FASHION INDUSTRY

Міжнародний конкурс
наукових робіт здобувачів
вищої освіти



ВЕРЕСЕНЬ — ЖОВТЕНЬ 2026



КИЇВ • КНУТД

Запрошуємо до участі —>

V МІЖНАРОДНИЙ СТУДЕНТСЬКИЙ ДИЗАЙНЕРСЬКИЙ КОНКУРС

«DIGITAL FASHION»

(КОСТЮМ, ВЗУТТЯ, АКСЕСУАРИ)



ІНДУСТРІЯ МОДИ

Комп'ютерний набір та макетування

КРИВОНОС Олена

Відповідальний редактор

РЕДЬКО Яна

Відповідальний за поліграфічне виконання

ОВЕЧКІНА Лілія

Підп. до друку 30.09.2026. Формат 60×84 1/8.
Ум. друк. арк. 6,96. Облік. вид. арк. 5,46. 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 ЗМІ:
Серія KB №23909-13749P від 19.04.2019 р.

Журнал зареєстровано як суб'єкт у сфері друкованих медіа – ідентифікатор R30-07201
(Рішення Національної Ради від 09.04.2024 р. №1033).

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 993 від 24.07.2002.

FASHION INDUSTRY

Computer Typesetting & Modeling

KRYVONOS Olena

Executive Editor

REDKO Yana

Responsible for printing

OVECHKINA Liliia

Printing proof 30.09.2026. Format 60×84 1/8.
Conditional sheet 6.96. Calculated sheet 5.46. Circulation 100 copies. Order N ____.

KNUTD Instant Printing Department.
Mala Shyianovska Street, 2, Kyiv, 01011, Ukraine.

Certificate KB №23909-13749P від 19.04.2019 р.

Print media identifier R30-07201, 09.04.2026.

Certificate ДК № 993, 24.07.2002.