

FASHION  
INDUSTRY

ІНДУСТРІЯ  
МОДИ

UKRAINE

№1, 2026



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

# Індустрія моди. Fashion Industry

**№ 1, 2026 / Issue 1, 2026**

DOI: 10.30857/2706-5898.2026.1

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.

**№ 1, 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 Міністерства освіти та науки України №1471 від 26.11.20) до **категорії Б** за наступними спеціальностями:

**132** – Матеріалознавство

**161** – Хімічні технології та інженерія

**182** – 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:**

**Остапенко Наталія Валентинівна** – докторка технічних наук, професорка, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, 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:**

**Редько Яна Володимирівна** – докторка технічних наук, професорка, 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. 1-295

тел./факс: +38 (044) 280-75-52

e-mail: [im@knuud.edu.ua](mailto:im@knuud.edu.ua); <https://im.knuud.edu.ua>

**Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 8 від 09.04.2026 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. Переклади 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 1, 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. 1471 dated November 26, 2020, and is classified under Category B in the following specialties:

**132** – Materials Science

**161** – Chemical Technologies and Engineering

**182** – Light Industry Technologies

---

**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:**

**Ostapenko Natalia** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the National Prize of Ukraine named after Boris Paton.

---

**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:**

**Redko Yana** – Doctor of Technical Sciences, Professor.

---

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 1-295

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

e-mail: [im@knutd.edu.ua](mailto:im@knutd.edu.ua); <https://im.knutd.edu.ua>

---

**Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 8 originating date 09.04.2026.**

---

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»**

**Остапенко Наталія Валентинівна** – докторка технічних наук, професорка, декан факультету мистецтв і моди, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *головний редактор*; ORCID 0000-0002-3836-7073, Scopus ID: 57191843580.

**Колосніченко Марина Вікторівна** – докторка технічних наук, професорка, професорка кафедри моди та стилю, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник головного редактора*; ORCID 0000-0003-0020-3214, Scopus ID: 24076493500.

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

**Галавська Людмила Євгеніївна** – докторка технічних наук, професорка, начальник науково-дослідної частини, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна; ORCID 0000-0002-6994-6641, Scopus ID: 57200291293.

**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.

**Залобовський 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.	<b>Колосніченко О., Остапенко Н., Струмінська Т., Луцкер Т., Мамченко Я., Яловий В., Колосніченко М.</b> Проектування теплозахисного спецодягу з автономною системою життєзабезпечення	6
2.	<b>Зубкова Л., Яценко М.</b> Дослідження кількісних характеристик провідних розмірних ознак фігур дівчат молодшого шкільного віку	18
3.	<b>Гараніна О., Редько Я., Андрєєва О., Воробйов К.</b> Сучасний стан дослідження матеріалів і функціональних властивостей взуттєвих устілок	26
4.	<b>Михайловська О., Гейвашук С.</b> Розробка системи ергономічних показників дитячого адаптивного взуття	36
5.	<b>Девогуц Д., Галавська Л.</b> Диференційований підхід до механічного опорядження ворсового трикотажного матеріалу типу «polar fleese»	48
6.	<b>Коробченко Є., Горобець В., Дворжак В.</b> Математичний експеримент по визначенню товщини магнітопроводу нового механізму переміщення матеріалів швейної машини	58

## TABLE OF CONTENTS

1.	<b>Kolosnichenko O., Ostapenko N., Struminska T., Lutsker T., Mamchenko Ya., Yalovyi V., Kolosnichenko M.</b> Designing thermal protective workwear with autonomous life support system	6
2.	<b>Zubkova L., Yatsenko M.</b> Research on the quantitative characteristics of the leading dimensional features of the figures of girls of primary school age	18
3.	<b>Haranina O., Redko Ya., Andreyeva O., Vorobiov K.</b> Current state of research on materials and functional properties of footwear insoles	26
4.	<b>Mykhailovskaa O., Heivashchuk S.</b> Development of a system of ergonomic indicators for children's adaptive footwear	36
5.	<b>Devohuts D., Halavska L.</b> A differentiated approach to the mechanical finishing of "polar fleece" type pile knitted fabric	48
6.	<b>Korobchenko Ye., Horobets V., Dvorzhak V.</b> Mathematical experiment for determining the magnetic core thickness of a new material feeding mechanism for a sewing machine	58

Стаття надійшла до редакції /  
Received 16.02.2026

Прийнята до друку /  
Accepted 26.03.2026

Опубліковано /  
Published 09.04.2026

УДК 687.1:677.017.626:62-762.62  
<https://doi.org/10.30857/2706-5898.2026.1.1>

### KOLOSNICHENKO OLENA

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine  
e-mail: [kolosnichenko.ov@knutd.edu.ua](mailto:kolosnichenko.ov@knutd.edu.ua)  
<https://orcid.org/0000-0001-5665-0131>

### OSTAPENKO NATALIJA

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine  
e-mail: [ostapenko.nv@knutd.com.ua](mailto:ostapenko.nv@knutd.com.ua)  
<https://orcid.org/0000-0002-3836-7073>

### STRUMINSKA TETIANA

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine  
e-mail: [struminska.tv@knutd.com.ua](mailto:struminska.tv@knutd.com.ua)  
<https://orcid.org/0000-0003-0449-4768>

### LUTSKER TETYANA

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine  
e-mail: [luskertatyna@gmail.com](mailto:luskertatyna@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-3230-5303>

### MAMCHENKO YANA

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine  
e-mail: [mamchenko.yo@knutd.edu.ua](mailto:mamchenko.yo@knutd.edu.ua)  
<https://orcid.org/0000-0001-6075-1285>

### YALOVYI VITALII

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine  
e-mail: [yalovyv.vv@knutd.edu.ua](mailto:yalovyv.vv@knutd.edu.ua)  
<https://orcid.org/0000-0002-1824-739X>

### KOLOSNICHENKO MARYNA

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine  
e-mail: [kolosnichenko.mv@knutd.com.ua](mailto:kolosnichenko.mv@knutd.com.ua)  
<https://orcid.org/0000-0003-0020-3214>

## DESIGNING THERMAL PROTECTIVE WORKWEAR WITH AUTONOMOUS LIFE SUPPORT SYSTEM

**Purpose.** The purpose of this study is to provide scientific and experimental substantiation of the principles for designing effective thermal protective special clothing (TPSC) equipped with an autonomous life support system, based on the integrated implementation of passive and active thermal protection methods under conditions of extreme and ultra-high temperature exposure. The research is aimed at establishing thermophysical regularities of heat transfer within multilayer material assemblies and developing a predictive model for temperature distribution and protective performance time under convective heat removal conditions.

**Methods.** The research methodology is based on a combination of theoretical modeling, experimental determination of thermophysical characteristics, and engineering design approaches. The theoretical framework relies on the theory of non-stationary heat transfer and the method of regular thermal regime, employing analytical solutions of differential equations describing heat conduction and convective heat exchange processes in porous multilayer systems. The thermophysical parameters of materials and material assemblies were determined using a flat bicalorimeter and a regular regime microcalorimeter. The study encompassed material packages composed of metallized heat-reflective outer layers, heat-resistant fabrics, membrane materials, thermal insulation interlayers, and lining materials. In addition, a nanostructured textile material modified with silver nanoparticles synthesized via a green technology approach was

developed and implemented as a hygienic underwear layer. A comparative analysis of various package configurations was conducted in order to identify optimal combinations according to thermal resistance, density, and ergonomic performance criteria.

**Results.** It was established that the exclusive use of passive thermal protection under ultra-high temperature conditions is ergonomically inefficient due to the necessity of significantly increasing garment thickness and mass. The integration of an active convective cooling system ensures a substantial increase in the effective thermal resistance of the multilayer structure. A mathematical model describing temperature distribution within a porous thermal insulation layer under forced air filtration conditions was developed. An efficiency coefficient of active thermal protection was introduced and analytically determined, enabling quantitative evaluation of cooling system performance. Experimental results confirmed that optimized material packages incorporating metallized outer layers and advanced thermal insulation materials provide enhanced thermal resistance while maintaining acceptable weight and dimensional characteristics. The application of the nanomodified textile material in the inner layer ensures compliance with hygienic requirements, ultraviolet radiation protection, and improved environmental sustainability of the production process.

**Scientific novelty.** For the first time, a comprehensive physical model of heat transfer in thermal protective clothing combining passive multilayer thermal insulation with active convective cooling has been theoretically substantiated. An analytical solution to the problem of temperature distribution within a porous thermal insulation layer under convective filtration conditions was obtained, enabling determination of the heat flux penetrating toward the human body as well as calculation of the efficiency coefficient of active thermal protection. The approach to the classification of heat-resistant materials according to their thermophysical characteristics and functional role within multilayer assemblies has been further developed. The use of a nanostructured textile material containing silver nanoparticles synthesized through an environmentally safe method is proposed as an integral component of combined thermal protection systems.

**Practical significance.** The obtained theoretical relationships and experimental results provide the possibility of predicting the protective performance time and ergonomic characteristics of thermal protective special clothing at the pre-design stage. The developed design principles contribute to the creation of competitive, high-technology products intended for fire-rescue units and professionals operating under extreme temperature conditions. The implementation of nanomodified textile materials enhances the hygienic properties of garments, ensures ultraviolet protection, reduces energy consumption in the manufacturing process, and improves the environmental safety of the technology. The proposed approach establishes a methodological foundation for the further development of adaptive and autonomous life support systems in the design of modern protective clothing.

**Keywords:** clothing design; special-purpose thermal protective clothing; textile barrier materials; convective heat transfer; thermal-protective properties of materials.

## ПРОЄКТУВАННЯ ТЕПЛОЗАХИСНОГО СПЕЦОДЯГУ З АВТОНОМНОЮ СИСТЕМОЮ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

КОЛОСНІЧЕНКО ОЛЕНА, ОСТАПЕНКО НАТАЛІЯ, СТРУМІНСЬКА ТЕТЯНА,  
ЛУЦКЕР ТЕТЯНА, МАМЧЕНКО ЯНА, ЯЛОВИЙ ВІТАЛІЙ, КОЛОСНІЧЕНКО МАРИНА

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

**Мета.** Метою дослідження є наукове та експериментальне обґрунтування принципів проєктування ефективного теплозахисного спеціального одягу (ТЗСО) з автономною системою життєзабезпечення на основі інтегрованої реалізації пасивних і активних способів теплозахисту в умовах впливу екстремальних та надвисоких температур. Дослідження спрямоване на встановлення теплофізичних закономірностей теплопереносу в багатошарових пакетах матеріалів і розроблення прогностичної моделі розподілу температур та часу захисної дії за умов конвективного теплознімання.

**Методологія дослідження** ґрунтується на поєднанні теоретичного моделювання, експериментального визначення теплофізичних характеристик і інженерно-конструкторських підходів. Теоретичне обґрунтування базується на положеннях теорії нестационарного теплопереносу та методу регулярного теплового режиму, з використанням аналітичного розв'язання диференціальних рівнянь, що описують процеси теплопровідності та конвективного теплообміну в пористих багатошарових системах. Теплофізичні показники матеріалів і пакетів

визначалися із застосуванням плоского бікалориметра та мікрокалориметра регулярного режиму. Дослідження охоплювали пакети, сформовані з металізованих тепловідбивних шарів, термостійких тканин, мембранних матеріалів, теплоізоляційних прошарків і підкладкових матеріалів. Окрім того, розроблено та впроваджено наноструктурований текстильний матеріал, модифікований наночастинками срібла, синтезованими за «зеленою» технологією, що застосовано як гігієнічний білизняний шар. Проведено порівняльний аналіз різних конфігурацій пакетів з метою визначення оптимальних комбінацій за показниками термічного опору, щільності та ергономічності.

**Головні результати.** становлено, що використання виключно пасивного теплозахисту в умовах надвисоких температур є ергономічно неефективним через необхідність значного збільшення товщини та маси виробів. Інтеграція активної конвективної системи охолодження забезпечує суттєве зростання ефективного термічного опору багатошарової системи. Отримано математичну модель розподілу температур у пористому теплоізоляційному шарі за умов примусової фільтрації повітря. Запроваджено та аналітично визначено коефіцієнт ефективності активного теплозахисту, що дозволяє кількісно оцінювати результативність систем охолодження. Експериментально підтверджено, що оптимізовані пакети з металізованими зовнішніми шарами та сучасними теплоізоляційними матеріалами забезпечують підвищений термічний опір за збереження прийнятних масо-габаритних показників. Використання наномодифікованого текстильного матеріалу у внутрішньому шарі забезпечує відповідність санітарно-гігієнічним вимогам, захист від ультрафіолетового випромінювання та підвищення екологічності виробництва.

**Наукова новизна.** Уперше теоретично обґрунтовано комплексну фізичну модель теплопереносу в теплозахисному одязі, що поєднує пасивну багатошарову теплоізоляцію з активним конвективним охолодженням. Отримано аналітичний розв'язок задачі розподілу температур у пористому теплоізоляційному шарі за умов конвективної фільтрації, що дозволяє визначати тепловий потік, який проникає до тіла людини, а також розраховувати коефіцієнт ефективності активного теплозахисту. Подальшого розвитку набув підхід до класифікації термостійких матеріалів за їх теплофізичними характеристиками та функціональним призначенням у структурі пакетів. Запропоновано використання наноструктурованого текстильного матеріалу з наночастинками срібла, отриманими екологічно безпечним способом, як складової комбінованих систем теплозахисту.

**Практична значимість.** Отримані теоретичні залежності та експериментальні результати забезпечують можливість прогнозування часу захисної дії та ергономічних показників теплозахисного спеціального одягу на передпроектному етапі. Розроблені принципи проектування сприяють створенню конкурентоспроможних високотехнологічних виробів для пожежо-рятувальних підрозділів та фахівців, що працюють в умовах екстремальних температур. Упровадження наномодифікованих текстильних матеріалів підвищує гігієнічні характеристики виробів, забезпечує ультрафіолетовий захист, зменшує енерговитрати у виробничому процесі та підвищує екологічну безпечність технології. Запропонований підхід формує методологічну основу для подальшого розвитку адаптивних і автономних систем життєзабезпечення у конструкції сучасного захисного одягу.

**Ключові слова:** проектування одягу; теплозахисний одяг спеціального призначення; текстильні бар'єрні матеріали; конвективна теплопередача; теплозахисні характеристики матеріалів.

**Introduction.** The experience of working in hazardous areas exposed to high temperatures, performing emergency rescue operations, and protection of workers that need to move long distances shows that the principle of passive thermal protection does not completely provide high-quality performance of work. This is due to the fact that the efficacy of passive protection methods is determined solely by the ability to withstand external thermal loads thanks to the well-founded selection of materials in

composites, which is an integral complex task [1]. Based on the above, the development of modern personal protective equipment (PPE) against extreme heat makes it impossible to apply the passive principle for reasons of product ergonomics. This principle implies multilayered, multifunctional, and interdependent of individual materials used for thermal protection of the human body, which, under conditions of extreme heat impact, requires the development of very thick (more

than 30 mm) composite clothing. Therefore, it is important to combine passive and active protection methods when developing effective PPEs against the impact of ultra-high and extreme temperatures. It should be noted that "heat-resistant nanostructured composite, ceramic, and metal materials have great potential for use in many industries due to their resistance to chemical decomposition at elevated temperatures" [1]. Among these innovative products, carbon structural materials with a maximum operating temperature of up to 1650 °C can be distinguished. While the outer layers of PPE materials are designed to provide direct protection against the impact of environmental heat, the inner layers that come into contact with the human body should have physiological compatibility. Such materials can improve the sanitary, hygienic, and protective properties of clothing.

***Analysis of previous studies and problem statement.*** In recent years, nanotechnology has become increasingly available from an economic standpoint, while from a technical standpoint, it has become possible to model, implement, and control processes at the nanoscale. This progress has been stimulated by the growing demand for new materials, caused, on the one hand, by the depletion of raw material resources and, on the other hand, by the active implementation of nanotechnologies into the production of products with fundamentally new properties [2, 3]. Due to the use of nanomaterials, effective solutions to a number of tasks related to the development of modern types of protective workwear may appear in the near future [4]. The large number of new materials requires studying their properties and developing a classification of heat-resistant materials, which makes it possible to easily determine their entire range and predict their behavior in high-temperature aggressive environments [5].

The first noticeable effects in the application of nanomaterials and nanobiotechnology for human protection, as well as nanoelectromechanical systems, are expected in the next five years. The most significant breakthroughs of the next decade may be the molecular production of macroscopic objects, so-called "desktop nanofactories". The

convergence of nano-, info-, bio-, and cognitive technologies may eventually provide extending the active stage of human life [6–8]. Perhaps these fields will determine the modern technologies in the future. High expectations are primarily associated with the development of hybrid structures that combine organic segments with inorganic ones, or living tissues with synthetic components which provide new properties through the development of nanocomposites in the design of modern protective materials.

The aim of the study was to determine the features of designing effective thermal-protective special clothing (TPSC) combining passive and active methods of protection against the impact of extremely high temperatures. Heat transfer processes were theoretically analyzed for determining temperature distribution in clothing layered materials during convective heat removal. This research is aimed at predicting the protective effect of the clothing in order to reduce injuries and deaths among workers, and conduct emergency rescue operations at the proper level, that can be a basis for the development of new types of TPSC.

***Materials and Experimental Techniques.*** Modern concepts for the development of functional thermal-protective clothing involve searching for universal solutions in combining materials into composite packages that are potentially capable of providing thermal protection for people in finished products. The implementation of the above tasks makes it possible to develop innovative, competitive, high-tech textile products with targeted properties for various applications. Clothing made from modified materials should reduce risks under harmful environmental conditions and, together with special design and technological solutions, favor the adjustment of clothing for various conditions. The following useful methodological and technical procedures should be highlighted:

- methodological approach to the peculiarities of designing special-purpose clothing;
- methodology for the informed choice of textile materials and their protective properties, as well as threads and accessories through comparative analysis of targeted properties;

- methodology for experimental research to determine the heat-resistant properties of materials under the impact of high-temperature environments;

- methodology for an ergonomic design of a reasonable product range, etc.

A scientifically based approach is important to develop TPSCs with targeted operational, ergonomic, protective, and, accordingly, technical and economic properties. Ukrainian and mainly foreign samples of fire-resistant materials for external covering, thermal insulation liner, and pad were selected for research due to a significant reduction in the market segment for these materials in Ukraine.

The implementation of the principle of combining passive and active protection requires the use of textile nanostructured materials. We proposed the use of innovative textile materials developed under a Kyiv National University of Technologies and Design (KNUTD) patent, with silver nanoparticles incorporated in the lining layer of protective clothing [9]. The use of newly developed materials fully meets hygiene requirements and provides protection against ultraviolet radiation. At the same time, the proposed technology is cost-effective in industrial implementation compared to existing techniques of producing materials; besides, it enhances the environmental friendliness of the production due to the use of "green" technology for manufacturing silver nanoparticles [10]. The goal was achieved by using a colloidal solution of protective substances extracted from fungal mycelium cell filtrate, which stabilizes silver nanoparticles.

Thus, in the proposed method, the production of modified material is simplified by permeating the textile material with a colloidal solution containing silver nanoparticles. The colloidal solution is absorbed and uniformly distributed throughout the textile material. Silver nanoparticles are located between the fibers of the fabric and on its surface, that results in a protective effect against ultraviolet radiation. The production of modified material is comparatively cost-effective due to the absence of heat treatment such as heating or high-temperature drying, i.e., energy costs are reduced by carrying out material modification

under normal conditions. It should also be noted that the use of "green" technology for producing silver nanoparticles enhances the environmental friendliness of the technology.

The advantages of the proposed technique are as follows: (1) simplification of the process of producing modified material by permeating the textile material with a colloidal solution containing silver nanoparticles; (2) the possibility of modifying textile material using existing finishing production equipment; (3) energy efficiency, as the modification is carried out under normal conditions; (4) environmental friendliness due to the use of "green" technologies.

The textile material is permeated with a colloidal solution containing silver nanoparticles, which is stabilized for five minutes with protective substances produced from the cell filtrate of fungal mycelium. The permeated modified material is dried under normal conditions. We tested the new material in a clothing with passive thermal protection, as well as in a clothing with active thermal protection under extreme thermal conditions.

Unlike passive clothing, TPSCs with active thermal protection require the presence of a cooling layer in the composite material, which depends on the type of protection. In this study, we examined heat transfer processes in clothing with active thermal protection to provide effective human performance in superheated environments.

There are several approaches to actively maintaining thermal homeostasis in the human body under extreme thermal conditions [11]. The main requirements for active thermal protection systems are:

- the system should have sufficient heat transfer, which corresponds to the intensity of heat production by the body and the microclimatic parameters of the environment;

- the system should provide the heat exchange structure and body temperature topography necessary to maintain thermal comfort.

As known, regular thermal regime is based on the phenomenon of free cooling of a heated body (system) in a gaseous or liquid environment. Therefore, a non-stationary thermal process is always associated with a change in the heat content of a body and is

determined by it. Since the rate of change in heat capacity is directly proportional to the material's ability to conduct heat (thermal conductivity coefficient  $\lambda$ ) and inversely proportional to its heat storage capacity (i.e., specific heat capacity per volume  $c$ ), the overall rate of heating or cooling of a body under non-equilibrium conditions is determined by the value of the temperature conductivity coefficient:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, m^2/h \quad (1)$$

where  $\rho$  is the density (specific weight) of the composite material,  $m^3/kg$ .

In the fundamental theorem of steady-state theory, the logarithm of the temperature difference  $\theta$  at any point of the body and the surrounding environment changes according to a linear law, with the same rate at each point and decreases over time  $\tau$  according to an exponential law:

$$\theta = A \cdot e^{-m\tau}, \quad (2)$$

where  $A$  is the proportionality factor that does not depend on time;

$m$  is a positive value corresponding to limited time, which is the same for any point of the body.

The parameter  $m$  is a central concept in the steady-state theory, which describes the relative cooling rate of a body, and is called the cooling rate. The materials and packets made of heat-resistant fibers were studied, which were tested in certified laboratories of KNUTD [12]. Depending on the type of materials, TPSC packets included: outer material, insulating layer, and lining (non-woven material). A modified textile material with silver nanoparticles was used as the undergarment layer of protective clothing.

If the clothing contained heat-reflective material with a metallized coating, the packets were formed with it as the outer layer. As widely known, the effectiveness of thermal protection depends on the thermophysical properties of materials, especially those used as a thermal insulation layer (insulation). In order to increase the thermal resistance of thermal-insulative clothing, the number of insulative

layers may vary, but the total thickness of the layered composite materials should not exceed 20 mm in accordance with the ergonomic requirements of the product.

**Results and Discussion.** Specific heat capacity was measured in a regular mode at a "Kaplya" microcalorimeter. As noted above, determination of heat capacity does not allow for a complete understanding and prediction of the thermal insulation properties of composite packets and finished products. The thermal conductivity of a layered composite packet is determined by the thermal conductivity coefficient  $\lambda$ , while for materials used in clothing, the thermal resistance  $R$  of materials and layers of protective clothing packets is considered more useful and illustrative.

The thermal insulation properties of materials were determined using a device with an improved regular mode – a flat-plate calorimeter, which allowed determining the thermal conductivity coefficient of both technical materials ( $0.1 < \rho < 1000 \text{ kg/m}^3$ ) and the thermal resistance of fabrics, layered composite packets, fur, corrugated board, etc. [13, 14].

The thermal conductivity coefficient, thermal resistance, and temperature conductivity coefficient were calculated based on the results obtained at a flat-plate calorimeter. The following formula was used for calculating thermal resistance  $R$  ( $m^2K/W$ ):

$$R = \frac{1}{\Phi \cdot f \cdot \left( \frac{m}{B} - A \right)}, \quad (3)$$

where  $\Phi$  is the device factor, which depends on the dimensions and material of the device, device constant  $\Phi = 14.1 \cdot 10^3 \text{ J/(m}^2\text{K)}$ ;

$f$  is the heat flux dissipation factor, that is a function of sample thickness,  $f = 0.90$ ;

$m$  is the cooling rate ( $c^{-1}$ );

$A$  is the instrument constant that determines heat loss through the side surface:  $A = 1.15 \cdot 10^{-4}$ ,  $c^{-1}$

The thermal conductivity coefficient ( $W/(m \text{ K})$ ) is determined as

$$\lambda = \frac{\delta}{R}, \quad (4)$$

where  $\delta$  is the thickness of material (packet of layers of different materials), m.

The thermal and physical properties of the materials and composite packets studied are listed in Tables 1 and 2.

Table 1

### Properties of materials used in TPSCs

Material, manufacturer	Code	Surface density, g/m <sup>2</sup>	Thickness, $\delta$ , x 10 <sup>-3</sup> , m	Specific heat capacity, C, J/(kg·K)	Air permeability coefficient, dm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·c)	Flammability	Coefficient $\lambda$ , W/(m·K)
1	2	3	4	5	6	7	8
Function of material layer in packet <b>1 Heat reflective</b>							
Vacuum metallized Nomex, AV 1/Z (Tempex GmbH, Germany)	A <sub>1</sub>	370	0.410	1489	0	non-flammable	0.044
Terlon, metallized with PET film, RF1/Y (Tempex GmbH, Germany)	A <sub>2</sub>	540	0.532	1518	0	non-flammable	0.046
Linen canvas with heat-resistant filling by 88 glue, metallized by transfer (TU 17-21-193-77, Ukraine)	A <sub>3</sub>	480	0.523	1314	8.0	flammable, hardly combustible	0.054
Function of material layer in packet <b>2 Heat resistant</b>							
Linen canvas with heat-resistant filler, item 11116 (GOST 115530, Ukraine)	B <sub>1</sub>	470	0.511	1636	15	flammable, medium flammability	0.052
Nomex III fabric, (Dupont, Switzerland)	B <sub>2</sub>	265	0.326	1938	52	non-flammable	0.042
Nomex Delta T fabric (Dupont, Switzerland)	B <sub>3</sub>	195	0.302	1964	58	non-flammable	0.043
Nomex fabric, GORE-TEX laminate (Gore GmbH, Germany)	B <sub>4</sub>	310	0.338	1768	0	non-flammable	0.048
Special heat-resistant fabric (HRF) (TU U17242-41-96, Ukraine)	B <sub>5</sub>	248	0.322	1924	54	non-flammable	0.045
Function of material layer in packet <b>3 Waterproof</b>							
GORE-TEX membrane material, (Gore GmbH, Germany)	C <sub>1</sub>	160	0.120	-	0	-	-
Rubberized fabric, item 356 (Ukraine)	C <sub>2</sub>	380	0.351	1830	0	hardly flammable	-
Function of material layer in packet <b>4 Heat-insulating</b>							
Polyamide synthetic wadding (synthetic winterizer), (Ukraine)	T <sub>1</sub>	338	5.61	2950	98	non-flammable, melting	0.038
Wool-phenyl knitted quilt batting (Ukraine)	T <sub>2</sub>	416	6.36	2135	86	non-flammable, smoldering	0.042
Needle-punched nonwoven fabric made of Nomex fibers (DuPont, Switzerland)	T <sub>3</sub>	190	4.56	1998	92	non-flammable	0.036
Needle-punched nonwoven fabric, 70% polyamide fibers, 15% wool, and 15% Nomex (Ukraine)	T <sub>4</sub>	348	6.05	2315	96	non-flammable, melting	0.041
Wool batting (GOST 18273-80, Ukraine)	T <sub>5</sub>	448	6.48	1382	103	non-flammable, smoldering	0.040
Function of material layer in packet <b>5 Lining</b>							
Lining twill fabric (item 3224, Ukraine)	E <sub>1</sub>	126	0.13	-	160	-	-
Cotton-polyester fabric (item SP322, Ukraine)	E <sub>2</sub>	130	0.14	-	110	-	-
Plain dyed calico (item 524, GOST 11680-76, Ukraine)	E <sub>3</sub>	124	0.13	-	180	-	-
Nomex fiber lining fabric (DuPont, Switzerland)	E <sub>4</sub>	115	0.13	-	115	-	-

Thermal properties of special protective clothing packets

Code number of packet	Packet number (Table 2.1)	Packet thickness, $\delta, \times 10^{-3}, \text{ m}$	Density, $\gamma, \text{ kg/m}^3$	Thermal resistance, $R, (\text{m}^2\text{K})/\text{W}$	Specific heat capacity, $c, \text{ J}/(\text{kg K})$	Thermal conductivity coefficient, $\lambda, \text{ W}/(\text{m K})$	Temperature conductivity coefficient $\alpha, 10^{-7}\text{m}^2/\text{c}$
1.	A <sub>1</sub> B <sub>4</sub> T <sub>3</sub> E <sub>4</sub>	5.45	59.8	0,121	1430	0,045	1.67
2.	A <sub>3</sub> T <sub>1</sub> T <sub>4</sub> E <sub>1</sub>	12.18	37.2	0,283	1440	0,043	4.36
3.	A <sub>1</sub> B <sub>5</sub> C <sub>1</sub> T <sub>4</sub> T <sub>4</sub> E <sub>2</sub>	13.15	39.3	0,313	1370	0,042	3.88
4.	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> T <sub>2</sub> T <sub>4</sub> E <sub>2</sub>	13.69	41.7	0,334	1540	0,041	3.48
5.	B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> T <sub>2</sub> E <sub>3</sub>	6.98	42.4	0,148	2130	0,047	2.26
6.	B <sub>3</sub> C <sub>1</sub> T <sub>4</sub> E <sub>3</sub>	6.77	40.1	0,138	2060	0,049	2.33
7.	B <sub>5</sub> C <sub>2</sub> T <sub>4</sub> E <sub>3</sub>	6.97	44.8	0,134	1940	0,052	2.42
8.	B <sub>4</sub> T <sub>3</sub> E <sub>3</sub>	5.04	47.5	0,105	2350	0,048	1.37
9.	B <sub>1</sub> C <sub>2</sub> T <sub>5</sub> E <sub>1</sub>	7.53	55.3	0,134	1240	0,056	3.42
10.	B <sub>4</sub> T <sub>3</sub> E <sub>4</sub>	4.96	29.1	0,127	2165	0,039	2.46

According to the data shown in the tables above, packets 2–4 had the best properties. Nevertheless, the properties of the packets with an outer metallized layer should be emphasized. This layer enhances thermal resistance and provides fire protection, but significantly increases the weight of the clothing due to the metal layer, as well as the necessary double-layer thermal insulation required due to more severe conditions of use.

Among the packets used to make clothing with passive thermal protection, packets 5 and 6 are particularly noteworthy, although others are also suitable for use in a wide range of temperatures due to well-grounded combination of materials. All packets are water-proof, contain surface-active substances, and also have the ability to remove moisture from interior volume. Packet 9, whose composition is currently used in modern types of TPSCs in various professions, raises serious doubts. Linen canvas saturated with heat-resistant substance has unsatisfactory flammability, while the rubberized fabric in packets 9 and 7 impedes removing excess moisture from the interior volume, which is unacceptable. Packet 10 is remarkable, which includes the materials produced by DuPont company (USA). Beside high thermal insulation, this fabric has a low density, which is an important advantage of this clothing. Due to these properties, these materials can be applied in TPSCs both with passive and active protection, which are used in a wide range of temperatures. However, its widespread use is hampered by excessively high prices. Thus, the searching experiment allowed

narrowing down the search and further research on materials and composite packets that are most versatile in terms of their properties for most types of TPSCs used at high temperatures.

The problem of using clothing at extremely high temperatures was solved based on well-known designs of ventilation in clothing. Active heat protection was used, which involved supplying cool air into the interior volume of the clothing, cooling the human body with it, and removing a uniform flow of used air into the atmosphere through the porous heat-insulating clothing. The study of this method of thermal protection leads to the following conclusions. Let us consider a heat-insulating layer of clothing in the form of an infinite flat plate with a thickness of  $\delta$ , made of a material with through porosity, which has a constant thermal conductivity coefficient  $\lambda$ . On one surface, the plate has a temperature close to human body temperature  $T_0$ , and on the other surface, it has elevated temperature  $T_1$  (boundary conditions of the first type). In this case, the heat conduction problem is one-dimensional, and the heat flow through the plate is:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_0) = \frac{\Delta T}{R_T}, \quad (5)$$

where  $R_T = \frac{\delta}{\lambda}$  is the thermal resistance of the system.

Let us consider a flow of a gas with heat capacity  $cp$ . Let its initial temperature be  $T_0$ , and the flow rate per second through a unit surface area be  $j \text{ kg}/(\text{m}^2\text{c})$ . Obviously, in this case, heat transfer inside the plate is determined by two

components: thermal conductivity, and convective heat exchange between the plate and the filtered gas. The first component in the cross sections  $x$  and  $(x+dx)$  is

$$q_x = -\lambda \frac{dT_c}{dx}, \quad (6)$$

$$q_{(x+dx)} = -\lambda \frac{d}{dx} \left( T_c + \frac{dT_c}{dx} dx \right). \quad (7)$$

The difference between these values, based on the energy balance condition, is equal to the second component, which is determined by the change in gas enthalpy between these cross-sections:

$$dq = q_x - q_{(x+dx)} = dh = h_x - h_{(x+dx)}. \quad (8)$$

If we assume that, due to slow continuous gas permeation through the porous material of the plate, a local temperature equilibrium forms between the layers, then

$$\lambda \frac{d^2T}{dx^2} dx = jc_p \cdot dT. \quad (9)$$

Therefore, the temperature distribution in the plate is described by the following differential equation:

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \chi \frac{dT}{dx} = 0, \quad (10)$$

where  $\chi = \frac{jc_p}{\lambda}$ .

Equation (10) has the following solution:

$$T = c_1 e^{\chi x} + c_2. \quad (11)$$

Taking into account boundary conditions:

$$T = T_0 \quad \text{at } x=0$$

$$T = T_1 \quad \text{at } x=\delta$$

equation (11) gives

$$c_1 = \frac{T_1 - T_0}{e^{\chi\delta} - 1}; \quad c_2 = T_0 - \frac{T_1 - T_0}{e^{\chi\delta} - 1}. \quad (12)$$

Then equation (11) takes the form

$$T = T_0 + \frac{T_1 - T_0}{e^{\chi\delta} - 1} (e^{\chi x} - 1). \quad (13)$$

The temperature distribution profile inside the plate, according to equation (13), is plotted

in Fig. 1. The amount of heat transferred through the plate with air reaching the human body can be calculated using the equation

$$q' = -\lambda \frac{dT}{dx} \Big|_{x=0} = -\frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_0) \frac{\chi\delta}{e^{\chi\delta} - 1} = \frac{\Delta T}{R_T^*}, \quad (14)$$

where  $R_T^* = \frac{\delta}{\lambda} \frac{e^{\chi\delta} - 1}{\chi\delta}$  is thermal resistance of a plate with active thermal protection.

Comparison of this expression with the equation (5) that describes the normal thermal conductivity of the plate allows evaluating the effectiveness of proposed approach to thermal protection [14]. In the latter case, the thermal resistance of the plate increases by a factor of  $n$ :

$$n = \frac{R_T^*}{R_T} = \frac{e^{\chi\delta} - 1}{\chi\delta}, \quad (15)$$

Parameter  $n$  can be called the coefficient of active thermal protection efficiency (Fig. 2).

However, despite the obvious advantages of ventilation systems (relative plainness of design and the possibility of using air from industrial enterprises' systems; providing oxygen supply to humans; sufficient psychophysiological suitability for humans; the possibility of high perspiration efficiency; the ability to remove toxins (anthropotoxins) from the interior volume), convective protection systems have a number of certain drawbacks. These include: insufficient overall protection against extremely high heat; the possibility of pain at extreme air temperatures and increased air velocity; significant contribution to overall water loss. This necessitates the development of heat-protective clothing with other means of active heat protection under various environmental conditions.

Thus, the study showed the need to develop and implement a physical model for the design of protective workwear with active thermal protection, as well as to suggest approaches to the design of clothing with active thermal protection not only by convective, but also by conductive and combined ways of heat removal, and removal of metabolic products from the interior volume. We will consider these issues in further research.

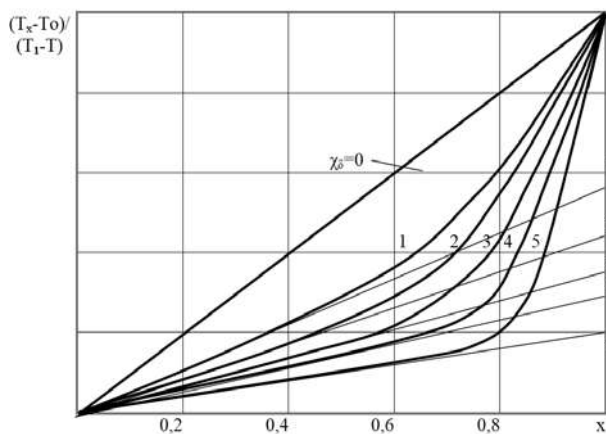


Fig. 1. Dependence of plate temperature  $T$  on parameter  $\chi_\delta$  ( $0' - 5'$  – tangents to temperature curves  $0 - 5$ )

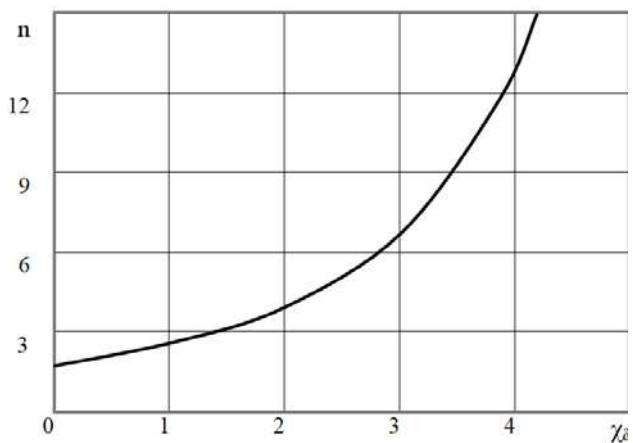


Fig. 2. Dependence of active thermal protection efficiency coefficient  $n$  on parameter  $\chi_\delta$

**Conclusions.** The presented study scientifically proved the concept regarding the implementation of the principle of combining passive and active protection in the development of effective means of individual protection against extreme temperatures. It is shown that the use of passive thermal protection at extremely high temperatures does not provide the ergonomic performance of new types of clothing, so the use of active thermal protection systems is required. It is proven that the development of passive protection needs the implementation of the concepts of multilayeredness, multifunctionality, and interdependence of individual layers of the composite material packet. A classification of materials is developed based on the production and composition of raw materials used for the manufacture of special thermal-protective clothing. The author's nanostructured innovative textile material is proposed for the design of thermal-protective clothing, which contains a lining layer with silver nanoparticles and combines the concepts of passive and active thermal protection.

The main directions of research in the development of modern structural and functional materials for the design of thermal-protective workwear are identified. The international research is expected to lead to the following results: the development of the

gradient coatings based on nanocomposites with effective protection of seams and products from external factors; the development of thermal-resistant and thermally stable carbon materials, including those modified with nanoparticles, ultra-lightweight foamed materials, fibrous thermal insulation, shielding and thermal insulation materials, etc., as well as disposable thermal-protective coatings with a low thermal conductivity ceramic layer and composite barrier layers.

Based on heat and mass transfer theory, assuming accepted hypotheses, boundary conditions, and assumptions, the problem of temperature distribution inside a layered composite packet during convective heat removal is solved for the first time. The equations obtained make it possible to determine the amount of heat reaching the human body, as well as to determine the coefficient of thermal protection efficiency during convective heat transfer. The relationships between parameters and dependencies of the thermal protection system in a clothing with an autonomous convective life support under conditions of various material packets are obtained. This allows predicting the time of protective action of a thermal-protective workwear at the pre-design stage and improving the ergonomic performance of the clothing.

#### Література

1. Kolosnichenko O. V., Ostapenko N. V., Struminska T. V., Barabash M. Yu., Leonov D. S., Skliarenko N. V., Lutsker T. V., Remeniya T. V.,

#### References

1. Kolosnichenko, O. V., Ostapenko, N. V., Struminska, T. V., Barabash, M. Yu., Leonov, D. S., Skliarenko, N. V., Lutsker, T. V., Remeniya, T. V.,

Oliinyk H. M., Navolska L. V., Kolosnichenko M. V. Peculiarities of Nanostructured Fabrics for Operation Under Thermal Impact. *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*. 2024. T. 22, № 4. С. 985–1000. DOI: <https://doi.org/10.15407/nnn.22.04.985>.

2. Global trends 2030: Alternative worlds. *National Intelligence Council*. 2012. URL: [https://irp.fas.org/nic/global\\_trends\\_2030.pdf](https://irp.fas.org/nic/global_trends_2030.pdf) (Last accessed: 20.02.2025).

3. Collection foresight projects: Foresight projects give evidence to policymakers to help them create policies that are more resilient to the future. *Government Office for Science*. 2013. URL <http://www.bis.gov.uk/foresight> (Last accessed: 10.08.2025).

4. Ostapenko N. V., Kolosnichenko M. V., Tretiakova L. D., Lutsker T. V., Pashkevich K. L., Rubanka A. I., Tokar G. M. Definition of the main features of material assemblies for thermal protective clothing during external high-temperature effect modelling. *Tekstilec*. 2021. Vol. 64, No. 2. P. 136–148. DOI: <https://doi.org/10.14502/Tekstilec2021.64.136-148>.

5. Супрун Н. П., Шатило Т. В., Остапенко Н. В., Гаврусенко Н. Ф. Порівняльний аналіз гігієнічних властивостей флісових полотен для військової форми в аспекті їх функціонального призначення. *Вісник КНУТД*. 2019. № 2(132). С. 99–107. DOI: <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2019.2.9>.

6. Nanomanufacturing: Emergence and implications for U.S. competitiveness, the environment, and human health (GAO-14-181SP). *Government Accountability Office*. URL: <https://www.gao.gov/assets/gao-14-181sp.pdf> (Last accessed: 12.12.2024).

7. Haranina O., Redko Y., Vardanian A., Romaniuk I., Lishchuk V., Pervaia N. Influence of dyeing technological conditions on the color characteristics and antibacterial properties of cotton polyester textiles. *Vlakna a Textil*. 2025. Vol. 32, Iss. 3. P. 21–27. DOI: <https://doi.org/10.15240/tul/008/2025-3-003>.

8. The National Nanotechnology Initiative: Strategic plan. *National Science and Technology Council*. URL: <https://www.nano.gov/node/581> (Last accessed: 13.01.2025).

9. Блюм Я. Б., Пірко Я. В., Круподьорова Т. А., Даниленко І. А., Ємець А. І., Власенко В. І., Березненко С. М., Кучеренко В. І., Арабулі С. І., Смертенко П. С., Наумов В. В. Спосіб одержання текстильного матеріалу з наночастинками срібла: патент України на корисну модель № 141094. Опубл. 25.03.2020, Бюл. № 6. Заявка на патент України на корисну модель від 16.07.19 № 2019 08291.

10. Колосніченко О. В. Розробка дизайн-ергономічних рішень функціонального адаптивного одягу для важкохворих і військовослужбовців в умовах запобігання нового спалаху пандемії COVID-19: звіт про НДР (заключний). КНУТД. Київ, 2021. № держ. реєстрації 0121U109720.

11. Wortz E. C., Edwards D. K., Diaz R. A. Study of heat balance in full pressure suits. *Aerospace Medicine*. 1967. Vol. 38, Iss. 2. P. 181–188.

12. Березненко С. М., Власенко В. І., Ігнат'єва І. А., Колосніченко М. В., Кострицький В. В., Попов В. П.,

Oliinyk, H. M., Navolska, L. V., & Kolosnichenko, M. V. (2024). Peculiarities of Nanostructured Fabrics for Operation Under Thermal Impact. *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*, 22(4), 985–1000, <https://doi.org/10.15407/nnn.22.04.9855>.

2. National Intelligence Council (2012). Global trends 2030: Alternative worlds. Available from: [https://irp.fas.org/nic/global\\_trends\\_2030.pdf](https://irp.fas.org/nic/global_trends_2030.pdf).

3. Government Office for Science (2013). Collection foresight projects: Foresight projects give evidence to policymakers to help them create policies that are more resilient to the future. Available from: <http://www.bis.gov.uk/foresight>.

4. Ostapenko, N. V., Kolosnichenko, M. V., Tretiakova, L. D., Lutsker, T. V., Pashkevich, K. L., Rubanka, A. I., & Tokar, G. M. (2021). Definition of the main features of material assemblies for thermal protective clothing during external high-temperature effect modelling. *Tekstilec*, 64(2), 136–148, <https://doi.org/10.14502/Tekstilec2021.64.136-148>.

5. Suprun, N., Shatylo, T., Ostapenko, N., & Gavrusenko, N. (2019). Comparative analysis of hygienic properties of fleece fabrics for the military uniform in the aspect of their functional application. *Technologies and Engineering*, 20(2), 99–107, <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2019.2.9>.

6. Government Accountability Office (n.d.). Nanomanufacturing: Emergence and implications for U.S. competitiveness, the environment, and human health (GAO-14-181SP). Available from: <https://www.gao.gov/assets/gao-14-181sp.pdf>.

7. Haranina, O., Redko, Y., Vardanian, A., Romaniuk, I., Lishchuk, V., & Pervaia, N. (2025). Influence of dyeing technological conditions on the color characteristics and antibacterial properties of cotton polyester textiles. *Vlakna a Textil*, 32(3), 21–27, <https://doi.org/10.15240/tul/008/2025-3-003>.

8. National Science and Technology Council (n.d.). The National Nanotechnology Initiative: Strategic plan. Available from: <https://www.nano.gov/node/581>.

9. Blyum, Ya. B., Pirko, Ya. V., Krupodiorova, T. A., Danylenko, I. A., Yemets, A. I., Vlasenko, V. I., Berenzenko, S. M., Kucherenko, V. I., Arabuli, S. I., Smertenko, P. S., & Naumov, V. V. (2020). Method for producing a textile material with silver nanoparticles, Utility model patent No. 141094, Ukrainian Intellectual Property Institute.

10. Kolosnichenko, O. V. (2022). Development of design-ergonomic solutions for functional adaptive clothing for seriously ill patients and military personnel under the conditions of preventing a new outbreak of the COVID-19 pandemic: Research report (No. 0121U109720), Kyiv National University of Technologies and Design.

11. Wortz, E. C., Edwards, D. K., & Diaz, R. A. (1967). Study of heat balance in full pressure suits. *Aerospace Medicine*, 38(2), 181–188.

12. Berenzenko, S. M., Vlasenko, V. I., Ihnatyeva, I. A., Kolosnichenko, M. V.,

Прокопова Є. А., Слізков А. М., Супрун Н. П. Теоретичні засади технологічного виробництва волокнистих матеріалів з прогнозованими бар'єрними медико-біологічними властивостями. *Волокнисті матеріали та виробництво легкої промисловості з прогнозованими бар'єрними медико-біологічними властивостями*: монографія. Київ: КНУТД, 2014. Ч. 1. 403 с. ISBN 978-966-7972-18-9.

13. Struminska T. V., Prasol S. I., Kolosnichenko E. V., Chuprina N. V., Ostapenko N. V. Designing of special clothing based on experimental researches of material properties. *Vlakna a Textil*. 2019. Vol. 26, Iss. 4. P. 84–95. URL: [http://vat.ft.tul.cz/2019/4/VaT\\_2019\\_4\\_10.pdf](http://vat.ft.tul.cz/2019/4/VaT_2019_4_10.pdf) (Last accessed: 10.08.2025).

14. Чепелюк О. В., Сарібєкова Ю. Г., Семешко О. Я., Ванкевич П. І., Черненко А. Д., Остапенко Н. В., Колосніченко О. В., Прохоровський А. С. Інноваційні технології виробництва текстильних матеріалів і виробів військового та спеціального призначення. *Олді-плюс*, 2021. 408 с. ISBN 978-966-289-494-3.

Kostryskyy, V. V., Popov, V. P., Prokopova, Ye. A., Slizkov, A. M., & Suprun, N. P. (2014). Theoretical foundations of technologies for the production of fibrous materials with predicted barrier medico-biological properties. *Fibrous materials and products of light industry with predicted barrier medico-biological properties*: monograph. Kyiv: KNUTD. Part 1, 403 p.

13. Struminska, T. V., Prasol, S. I., Kolosnichenko, E. V., Chuprina, N. V., & Ostapenko, N. V. (2019). Designing of special clothing based on experimental researches of material properties. *Vlakna a Textil*, 26(4), 84–95. Available from: [http://vat.ft.tul.cz/2019/4/VaT\\_2019\\_4\\_10.pdf](http://vat.ft.tul.cz/2019/4/VaT_2019_4_10.pdf).

14. Chepelyuk, O. V., Saribyekova, Yu. H., Semeshko, O. Ya., Vankevych, P. I., Chernenko, A. D., Ostapenko, N. V., Kolosnichenko, O. V., & Prokhorovsky, A. S. (2021). Innovative technologies for the production of textile materials and products for military and special purposes. *Oldi-plyus*. 408 p.

Стаття надійшла до редакції /  
Received 21.11.2025

Прийнята до друку /  
Accepted 08.12.2025

Опубліковано /  
Published 09.04.2026

УДК [687:01:572.087] – 055.25:687.132  
<https://doi.org/10.30857/2706-5898.2026.1.2>

### ЗУБКОВА ЛЮДМИЛА

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна  
e-mail: [zubkova.lyudmyla@ukr.net](mailto:zubkova.lyudmyla@ukr.net)  
<https://orcid.org/0000-0002-4389-1849>

### ЯЦЕНКО МАРИНА

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна  
e-mail: [yacenko.mv@knutd.edu.ua](mailto:yacenko.mv@knutd.edu.ua)  
<https://orcid.org/0000-0002-6983-4332>

## ДОСЛІДЖЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВІДНИХ РОЗМІРНИХ ОЗНАК ФІГУР ДІВЧАТ МОЛОДШОГО ШКІЛЬНОГО ВІКУ

**Мета.** Дослідження кількісних характеристик провідних розмірних ознак фігур сучасних дівчат молодшого шкільного віку для визначення антропометричної інформації, достатньої для промислового виробництва дитячого одягу.

**Методика.** У роботі використано контактний метод отримання антропометричної інформації, що характеризує фігуру дитини.

**Результати.** Відсутність оновленої стандартизованої антропометричної інформації про типи дитячих фігур призводить до виготовлення у промисловому виробництві неспіврозмірного одягу. Це вимагає проведення дослідження відповідності типовим фігурам сучасних дітей з метою перегляду галузевих стандартів. Встановлено, що тільки 66,7% типових фігур дівчат 9,5–11,5 років представлено в стандарті молодшого шкільного віку, а майже 30% - в стандарті дівчат старшої шкільної вікової групи. Крім того, встановлено кількісний зсув наявних типових фігур в сторону 11 повнотної групи.

**Наукова новизна.** На основі аналізу кількісних характеристик провідних розмірних ознак сучасних типових фігур дівчат молодшого шкільного віку розрахований відсотковий розподіл типорозмірів у вибірці та встановлений перелік типових фігур, які представлені у діючому стандарті.

**Практична значимість.** Визначено типологічний склад фігур дівчат молодшого шкільного віку за сполученням величин провідних розмірних ознак для забезпечення підвищення рівня задоволеності цієї групи дітей одягом масового виробництва.

**Ключові слова:** антропометрична відповідність, дівчата молодшого шкільного віку, провідні розмірні ознаки, розмірна типологія.

## RESEARCH ON THE QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF THE LEADING DIMENSIONAL FEATURES OF THE FIGURES OF GIRLS OF PRIMARY SCHOOL AGE

ZUBKOVA LYUDMILA, YATSENKO MARYNA  
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**Purpose.** To study the quantitative characteristics of the leading dimensional features of the figures of modern girls of primary school age in order to determine the anthropometric information sufficient for the industrial production of children's clothing.

Copyright © The Author(s). This is an open access article  
distributed under the terms of the Creative Commons Attribution  
License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

**Methodology.** The work uses the contact method of obtaining anthropometric information that characterizes the figure of a child.

**Results.** The lack of updated standardized anthropometric information on children's body types leads to the production of ill-fitting clothing in industrial manufacturing. This requires research on the conformity of typical body types of modern children in order to revise industry standards. It has been established that only 66.7% of typical figures of girls aged 9.5–11.5 years are represented in the standard for primary school children, and almost 30% in the standard for girls of the senior school age group. In addition, a quantitative shift of existing typical figures towards the 11 fullness group has been established.

**Scientific novelty.** Based on the analysis of quantitative characteristics of the leading dimensional features of modern typical figures of girls of primary school age, the percentage distribution of standard sizes in the sample was calculated, and a list of typical figures was established, which are represented in the current standard.

**Practical significance.** The typological composition of the figures of girls of primary school age was determined by combining the values of the leading dimensional characteristics to ensure an increase in the level of satisfaction of this group of children with mass-produced clothing.

**Keywords:** anthropometric correspondence; girls of primary school age; leading dimensional characteristics; dimensional typology.

**Вступ.** Необхідною умовою проектування комфортного одягу є антропометричне узгодження розмірів та геометрії фігури з розмірами та формою одягу. Теоретично немає двох людей з абсолютно однаковими розмірами тіла. Однак, промислове виробництво швейних виробів для населення можливо лише за умови, що виготовлятися ці вироби будуть на конкретні типові фігури, які достатньо відображають форму тіла людини. З цією метою розроблені антропометричні стандарти, в яких все населення представлене певною кількістю типових фігур. Стандартизація повинна забезпечувати необхідну якість продукції масового виробництва та підвищувати рівень проектування та виготовлення виробів. Але однією з проблем стандартизації у швейній галузі є недостатність об'єктивної інформації про фігуру людини і це, в свою чергу, призводить до невиконання основної функції масового виробництва – задоволення потреб споживачів. Рекомендований термін для перегляду розмірної типології населення - 15 років, тобто період, протягом якого в результаті процесу акселерації зазвичай відбувається зміна розмірних ознак людини, особливо це стосується дітей [3, 5, 14, 18].

Основним спільним недоліком існуючої розмірної типології є те, що стандартизовані розмірні ознаки фігури дитини не відображають сучасну типологію дітей за рядом об'єктивних причин, одна з яких – відсутність будь-яких антропометричних

обмірів протягом останніх десятиріч. Це, в першу чергу, стосується досліджень українського населення за повною антропометричною програмою для розробки галузевих стандартів швейного виробництва [2–4, 18].

**Аналіз попередніх досліджень.** Відомо, що абсолютні значення антропометричних ознак не лишаються постійними в часі. Зміна кількісних характеристик фігури дитини пов'язана з процесом акселерації. Як тільки у середині XIX століття у медичну практику обстеження дітей увійшла антропометрія, в різних країнах почали накопичуватись дані, які дозволили у подальшому констатувати поступове збільшення довжини та ваги тіла дітей. Крім того, прискорення росту супроводжувалося і деякою зміною форми тіла, а саме було виявлено збільшення абсолютних розмірів обхвату грудей, обхвату талії, довжини тулуба та сегментів кінцівок [3, 4, 6–9, 14].

Розмірна типологія може бути побудована лише за умови отримання детальної характеристики різновидів морфологічних типів, що зустрічаються серед населення, тобто повинні бути відомі величини антропометричних ознак, які характеризують ці типи та співвідношення величин різних вимірів тіла людини. Побудова розмірної типології для дітей складніша задача, ніж побудова типології для дорослих. В галузевому антропометричному стандарті ОСТ 17-66-88 встановлено 105 типових фігур дівчат. Також

їх розмірна характеристика та величини провідних розмірних ознак наведено в ДСТУ ГОСТ 25294:2005 [1, 3].

Як відомо, швидкість росту та розвитку дітей обумовлює зв'язок між віком та типом тілобудови [3, 5, 13, 14]. Це стосується і дівчат молодшого шкільного віку, що в стандарті визначені періодом з 6,5 років до 11,5 років. Відповідно до [2, 3, 10, 14] цей віковий період включає перший (з 3 до 7 років) та другий (з 8 до 11 років) періоди дитинства, котрі характеризуються різними особливостями фізичного розвитку. В роботі [10] наведені результати обмірів фігур дівчат 6,5–9,0 років. Було встановлено, що в стандарті типових фігур досліджуваної групи їх кількість складає тільки 62,3%, що показує значну невідповідність галузевій класифікації. Крім того, 8% фігур за обхватом грудей третім  $O_{гш}$  та 9,3% за обхватом талії  $O_t$  є характерними для старшої шкільної групи. Це дослідження підтверджує висновки, що зроблені іншими авторами [2–9, 12–14], та показує необхідність проведення подальшого аналізу будови тіла дівчат шкільного віку.

**Постановка завдання.** Розробка сучасної та об'єктивної системи антропометричних стандартів та проведення додаткових досліджень щодо удосконалення структури існуючої нормативно – технічної документації є важливою умовою проектування співрозмірного дитячого одягу в Україні. Тому було поставлене завдання дослідження фігур дівчат молодшого шкільного віку 9,5–11,5 років та формування відповідної антропометричної бази даних.

**Результати дослідження та обговорення.** Одним з найважливіших питань при виробництві одягу, що відповідає всім вимогам споживача, є наявність

достатньо повної і якісної інформації про розміри і форму тіла людини, а також точне відтворення цієї інформації в антропометричних стандартах.

Для дослідження сучасних типів тілобудов дівчат визначеної вікової групи були використані методика та техніка проведення антропометричних обстежень тіла людини, необхідних для конструювання одягу масового виробництва. Вимірювання величин провідних розмірних ознак проводилось за заданою програмою стандартизованими інструментами [1, 3, 4, 10].

Відомо, що типова фігура – це варіант будови тіла, розмірні ознаки якого відповідають значенням, що зафіксовані у стандартизованих антропометричних класифікаціях. Вони включають систематизовані діапазони зростів, розмірів та повнотних груп, тому необхідні параметри визначались за зростом ( $P$ ), обхватом грудей третім ( $O_{гш}$ ) та обхватом талії ( $O_t$ ) [1, 3, 5, 18]. Ця робота є продовженням встановлення кількісних характеристик провідних розмірних ознак для частини дівчат визначеної вікової групи, а саме 9,5–11,5 років. Величина вибірки розраховувалась за стандартною методикою і була визначена в роботі [9, 10]. Відсотковий розподіл дівчат за віком склав: 9,5–10,5 років – 24%; 10,5–11,5 років – 76%. Для визначення типів тілобудови за значеннями провідних розмірних ознак конкретних фігур були використані методи математичної статистики [18].

Величини вимірів провідних розмірних ознак порівнювались із значеннями наведеними у галузевих стандартах (таблиця 1) [1, 3]. Це необхідно для встановлення відповідності сучасних фігур дівчат діючому антропометричному стандарту.

Таблиця 1

## Аналіз відповідності отриманих результатів обміру даним стандарту

№	Назва та позначення розмірної ознаки	Дані за стандартом, см (6,5–11,5 років)	Дані за результатами досліджень, см (9,5–11,5 років)
1	Висота верхівкової точки – $P$	122–146	134–164
2	Обхват грудей третій – $O_{гш}$	60–72	60–92
3	Обхват талії – $O_t$	51–66	54–84

Таблиця 1 містить інформацію про наступні зміни розмірних ознак:

- величини зросту дівчат змінюються від 134 до 164 см, що не відповідає стандартним діапазонам, де верхня межа становить 146 см;

- верхня межа варіантів обхвату грудей третього також збільшилась, а саме для цієї вікової групи варіанти ОгIII, що дорівнюють 76 см, 80 см, 84 см, 88 см та 92 см у стандарті відсутні;

- величини розмірної ознаки обхват талії От істотно розширили свої межі в сторону збільшення: у стандарті значення От змінюються від 51 см до 66 см, а за результатами дослідження їх межі становлять від 54 см до 84 см.

Тобто можна зробити висновок про наявність частини типових фігур характерних для дівчат 9,5–11,5 років в стандарті старшої шкільної вікової групи.

Для встановлення типових фігур сучасних дівчат 9,5–11,5 років була розрахована частота зустрічаємості провідних розмірних ознак Р, От, ОгIII. (рис. 1 – рис. 3).

Було встановлено, що у досліджуваній групі дівчат найчастіше зустрічаються зрости 146 см – 27,1%, 140 см – 26,0%, 152 см – 22,1%, 158 см – 15,2%, тобто вони не відповідають верхній межі стандартного діапазону, а три з них виходять за межі вікової групи (рис. 1). Варіанти обхвату грудей третього для дівчат цього віку також значно більше у порівнянні зі стандартом, а саме встановлено, що для них найбільш характерні наступні значення ОгIII: 72 см – 28,1%, 68 см – 17,3%, 80 см – 13,0%, 84 см – 12,2% (рис. 2). Що стосується розмірної ознаки От, то найбільш характерними для дівчат цієї вікової категорії є 66 см – 24,0%, 63 см – 18,2%, 60 см та 72 см – по 14,1% (рис. 3). Необхідно також зазначити, що останнє значення розмірної ознаки От характеризує типові фігури навіть за межами старшої вікової групи [1, 3].

За результатами дослідження було встановлено, що кількість значень провідних розмірних ознак Р, ОгIII, От, що зустрічаються у вибірці дівчат 9,5–11,5 років, не відповідають стандартним

діапазонам. За зростом відсоток величин цієї розмірної ознаки, що відсутні у стандарті, складає 42%, за обхватом грудей третім – 43%, за обхватом талії – 34%, що дозволяє говорити про невідповідність типових фігур у стандарті для дівчат молодшої шкільної вікової групи реально існуючим.

Для встановлення переліку типових фігур сучасних дівчат необхідно порівняти результати дослідження з даними діючих стандартів (таблиця 2) [1, 3].

В результаті співставлення інформації про реальні фігури дівчат з даними діючої стандартизованої антропометричної класифікації встановлено, що найбільш характерними для цієї категорії дівчат за віком є наступні типові фігури:

- для I повнотної групи: 140-72-60, 146-72-60;

- для II повнотної групи: 140-64-60, 140-68-63, 140-72-66, 146-64-60, 146-68-63, 146-72-66.

Також, можна зазначити, що 66,7% досліджуваних фігур дівчат включені в антропометричну класифікацію. Необхідно також підкреслити, що у вибірці найбільше зустрічаються фігури 11 повнотної групи. Що стосується фігур, котрі відсутні в стандарті, що аналізується, то було встановлено наступне: 34% фігур у вибірці за вимірами ОгIII та 5% фігур за вимірами От представлені в класифікації старшої шкільної вікової групи.

Беручи до уваги проведені дослідження, зроблено висновок про необхідність редагування діючих стандартів, оскільки вони не задовольняють виробників щодо виготовлення одягу відповідно до типології дівчат молодшої шкільної вікової групи 9,5–11,5 років.

**Висновки.** На даний час промисловість України потребує достовірних даних про тілобудову дітей та удосконалення класифікації їх типових фігур. Таким чином, існуючий процес проектування дитячого одягу не забезпечує його відповідності функціональним можливостям дитини, її антропометричним характеристикам в статичності та динамічності, зручності використання виробів в побуті та у навчальному процесі.

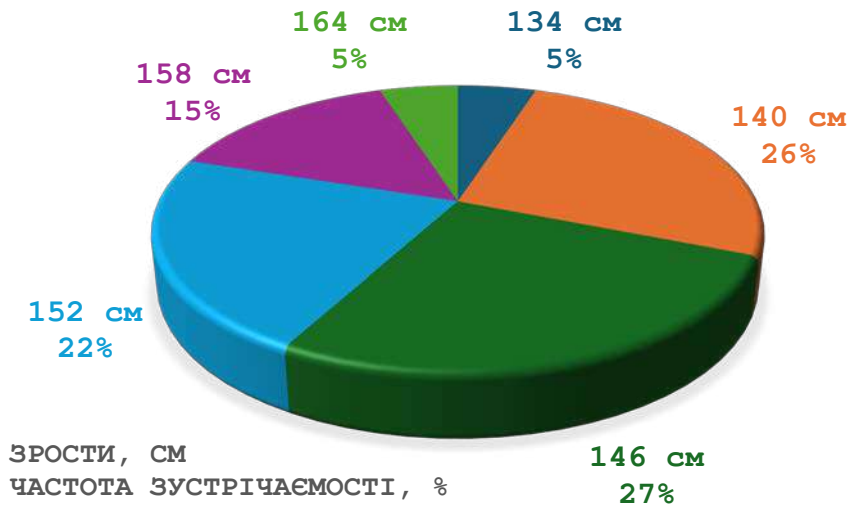


Рис. 1. Відсотковий розподіл зростів Р у вибірці

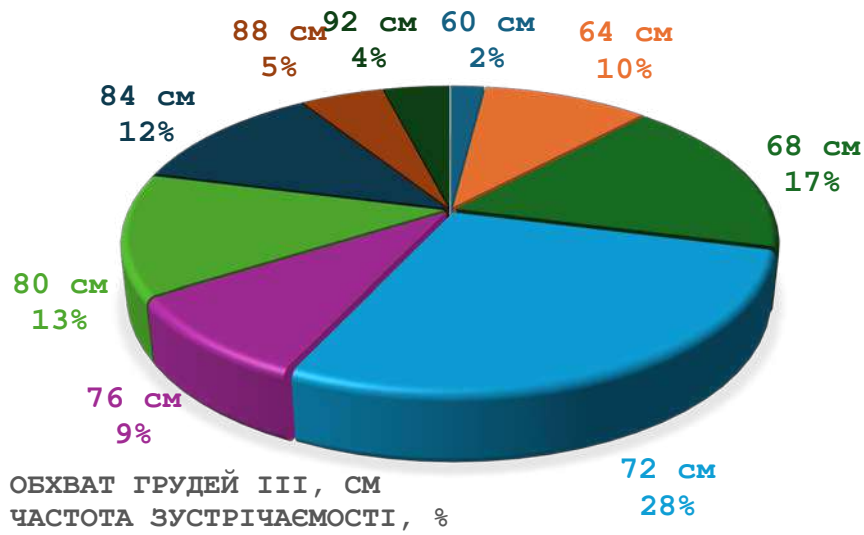


Рис. 2. Відсотковий розподіл обхвату грудей третього ОгIII у вибірці

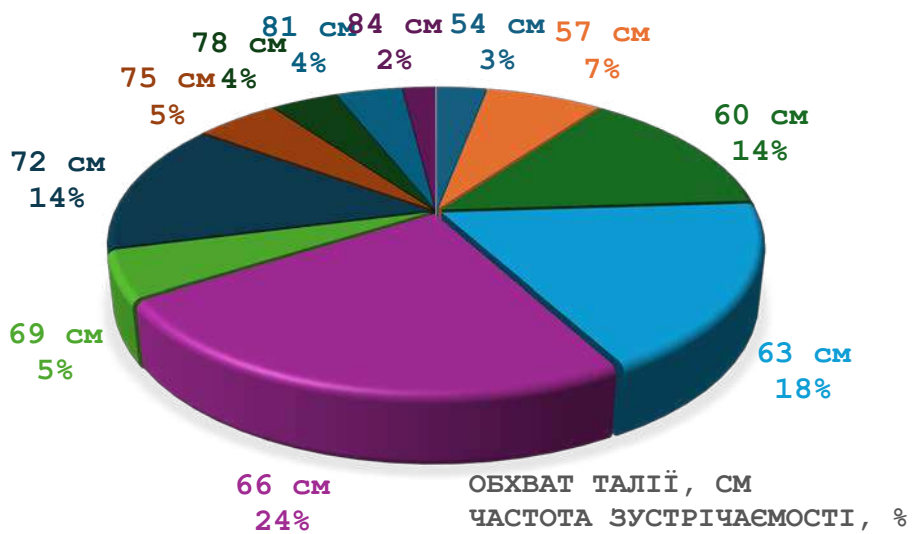


Рис. 3. Відсотковий розподіл обхвату талії От у вибірці

**Класифікація типових фігур дівчат молодшої шкільної вікової групи  
(6,5–11,5 років) за стандартом**

Вікова група (вік, роки)	Повнотна група	Перша				Друга			
	Обхват грудей	60	64	68	72	60	64	68	72
	Обхват талії	51	54	57	60	57	60	63	66
		Зріст							
Молодша шкільна вікова (від 6 років 6 місяців до 11 років 6 місяців)		122	122	-	-	122	122	-	-
		128	128	-	-	128	128	-	-
		134	<b>134</b>	134	-	134	<b>134</b>	134	-
		-	140	140	140	-	140	140	140
		-	146	146	146	-	146	146	146

За результатами дослідження було встановлено, що в процесі акселерації дівчат молодшої вікової групи 9,5–11,5 років відбулися зміни, що характеризують розширення кількості типових фігур у діапазоні зростів та розмірів в сторону збільшення, а саме: варіанти довжини тіла змінюються від 134 см до 164 см у порівнянні зі стандартом, де верхня межа становить 146 см; верхня межа варіантів обхвату грудей третього також збільшилась, тобто значення  $O_{гш}$ , що дорівнюють 76 см, 80 см, 84 см, 88 см та 92 см у стандарті відсутні; величини розмірної ознаки обхват талії  $O_t$  також істотно розширили свої межі з 51–66 см у стандарті до 84 см за результатами дослідження. Відсоток величин провідних розмірних ознак  $P$ ,  $O_{гш}$ ,  $O_t$ , що зустрічається у вибірці, але відсутній у стандарті молодшої шкільної вікової групи досить великий. За зростом він складає 42%, за обхватом грудей третім – 43%, за обхватом талії – 34%. Тобто, можна зробити

висновок про наявність частини типових фігур характерних для даної категорії дівчат в стандарті старшої шкільної вікової групи.

Що стосується сучасних типових фігур, то у стандарті для цієї категорії дівчат вони складають 66,7%. Також необхідно підкреслити, що за даними дослідження збільшилась кількість фігур 11 повнотної групи.

Для побудови антропометричних стандартів важливим є питання визначення інтервалів поділу дітей на вікові групи, в межах яких пропорції тіла та тип тілобудови лишаються незмінними. До зміщення вікових меж групування типових фігур призводить акселерація, яка вносить суттєві зрушення у процеси розвитку дитячого організму, прискорюючи терміни їх початку та закінчення. Зміна співвідношення розмірів призводить до необхідності перегляду системи типових фігур та проведення широкого антропометричного дослідження дітей з метою визначення дитячої розмірної типології.

#### Література

1. Нормативні вимоги до антропометричних вимірювань людського тіла. Класифікація типових фігур та позначення розмірів одягу: довідник / упор. Л. І. Зубкова, С. М. Березненко та ін. К.: КНУТД, 2012. 277 с.
2. Фізичний розвиток дітей різних регіонів України: збірник / за ред. І. Р. Бариліак. Тернопіль: Укрмедкнига, 2000. 208 с.
3. Пашкевич К. Л., Баранова Т. М. Конструювання дитячого одягу: навч. посіб. Київ: НВЦ "Профі", 2012. 326 с.
4. Баранова Т. М. Удосконалення антропометричної інформаційної бази для проектування плечового одягу дівчат: дис. ... канд. тех. наук: 05.19.04. Київ: КНУТД, 2007. 272 с.

#### References

1. Zubkova, L. I. et al. (eds.) (2012). *Normative requirements for anthropometric measurements of the human body* [Classification of typical figures and designation of clothing sizes]. Kyiv: KNU TD. 277 p. [in Ukrainian].
2. Barylyak, S. R. (ed.) (2000). *Fizychnyi rozvytok ditei riznykh rehioniv Ukrainy* [Physical development of children in different regions of Ukraine: Collection]. Ternopil: Ukrmedknyga. 208 p. [in Ukrainian].
3. Pashkevich, K. L., & Baranova, T. M. (2012). *Konstruiuvannia dytiachoho odiahu* [Designing children's clothing]. Kyiv: NVTs "Profi". 326 p. [in Ukrainian].
4. Baranova, T. M. (2007). *Udoskonalennia antropometrychnoi informatsiinoi bazy dlia proektuvannia plechovoho odiahu divchat* [Improvement of the anthropometric information base for the design of shoulder clothes for girls]. Candidate's thesis. Kyiv: KNU TD. 272 p. [in Ukrainian].

5. Нечитайло Ю. М. Антропометрія та антропометричні стандарти у дітей. Чернівці: БДМА, 1999. 143 с.
6. Баранова Т. М. Доцільність використання існуючої нормативно-технічної документації для проектування одягу для дівчат-підлітків в Україні. *Вісник КНУТД*. Київ, 2004. № 5. С. 128–131.
7. Зубкова Л. І., Супрович Я. А. Дослідження відповідності сучасних фігур дівчаток діючим стандартам. *Вісник КНУТД*. Київ, 2018. № 1(112). С. 36–42.
8. Зубкова Л. І., Фоміна О. О. Дослідження відповідних фігур хлопчиків діючій нормативно-технічній документації для проектування одягу. *Індустрія моди. Fashion industry*. Київ, 2020. № 2. С. 32–37.
9. Сайт Державної служби статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення 13.11.2025).
10. Зубкова Л. І., Рудік Р. А. Дослідження фігур дівчаток молодшого шкільного віку щодо відповідності діючій типології. *Індустрія моди. Fashion industry*. Київ, 2023. № 1. С. 21–28.
11. Зубкова Л. І., Яценко М. В., Мельник Л. М. Дослідження постави дівчат молодшого шкільного віку. *Індустрія моди. Fashion industry*. Київ, 2024. № 3. С. 32–40.
12. Blazena Musilova, Lubos Zatloukal, Zdenek Kus. Somatometrik survey of the czech adult population in relation to the standart EN 13 402. 13 International Conference Structure and Structural Mechanics of Textiles (TU Liberec, Czech Republic, November 2006). Liberec, 2006.
13. Голубчиков М. В. Комплексне дослідження стану здоров'я дитячого населення в різних регіонах України: автореф. дис. ... док. мед. наук: 14.02.10. Київ, 1995. 38 с.
14. Цимбал Т. В. Антропометрична стандартизація проектування одягу: монографія. Київ: КНУТД, 2004. 148 с.
15. DSTU EN 13402-3:2018. Одяг. Позначки розмірів. Частина 3. Етикетування розмірів на основі вимірів тіла та інтервалів (EN 13402-3:2017, IDT). [Чинний від 01.11.2018]. Вид. офіц. Київ, 2018.
16. DSTU ISO / TR 10652: 2006. Одяг. Стандартна система визначення розмірів. [Чинний від 01.10.2007]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 34 с.
17. DSTU ISO8559: 2006 Одяг. Конструювання та антропометричне
5. Nechytailo, Yu. M. (1999). *Antropometriia ta antropometrychni standarty u ditei* [Anthropometry and anthropometric standards in children]. Chernivtsi: BDMA. 143 p. [in Ukraine].
6. Baranova, T. M. (2004). Dotsilnist vykorystannia isnuiochoi normatyvno-tekhnichnoi dokumentatsii dlia proektuvannia odiahu dlia divchat-pidlitkiv v Ukraini [The expediency of using the existing regulatory and technical documentation for designing clothes for teenage girls in Ukraine]. *Visnyk KNUVD – Visnyk KNUVD*, 5, 128–131 [in Ukrainian].
7. Zubkova, L. I., & Suprovych, Ya. A. (2018). Doslidzhennia vidpovidnosti suchasnykh fihur divchatok diiuchym standartam [Study of compliance of modern figures of girls with the current standards]. *Visnyk KNUVD – Visnyk KNUVD*, 1(112), 36–42 [in Ukrainian].
8. Zubkova, L. I., & Fomina, O. O. (2020). Doslidzhennia vidpovidnykh fihur khlopchykiv diiuchii normatyvno-tekhnichnii dokumentatsii dlia proiektuvannia odiahu [ Study of the appropriate figures of boys in the current regulatory and technical documentation for designing clothes]. *Industriia mody – Fashion industry*, 2, 32–37 [in Ukrainian].
9. Sait Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy [Website of the State Statistics Service of Ukraine]. Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua> [in Ukrainian].
10. Zubkova, L. I., & Rudik, R. A. (2023). Doslidzhennia fihur divchatok molodshoho shkilnoho viku shchodo vidpovidnosti diiuchii typolohii [Research on the figures of primary school girls in terms of compliance with the current typology]. *Industriia mody – Fashion industry*, 2, 21–28 [in Ukrainian].
11. Zubkova, L. I., Yatsenko, M. V., & Melnyk, L. M. (2024). Doslidzhennia postavy divchat molodshoho shkilnoho viku [Posture study of primary school girls]. *Industriia mody – Fashion industry*, 3, 32–40 [in Ukrainian].
12. Blazena Musilova, Lubos Zatloukal, Zdenek Kus (2006). Somatometrik survey of the czech adult population in relation to the standart EN 13 402. 13 International Conference Structure and Structural Mechanics of Textiles (TU Liberec, Czech Republic, November 2006). Liberec.
13. Holubchikov, M. V. (1995). Kompleksne doslidzhennia stanu zdorov'ia dytyachoho naselennia v riznykh rehionakh Ukrainy [Comprehensive study of the state of health of children in different regions of Ukraine]. Extended abstract of candidate's thesis. Kyiv [in Ukrainian].
14. Tsybmal, T. V. (2004). Antropometrychna standartyzatsiia proektuvannia odiahu [Anthropometric standardization of clothing design]. Kyiv: KNUVD. 148 p. [in Ukrainian].
15. DSTU EN 13402-3:2018. Odiah. Poznaky rozmiriv. Chastyna 3. Etyketuvannia rozmiriv na osnovi vymiriv tila ta intervaliv (EN 13402-3:2017, IDT) [Clothes. Designation of size. Part 3. Measurements and intervals]. Kyiv. Derzhspozhivstandart of Ukraine.
16. DSTU ISO / TR 10652: 2006. Odiah. Standartna systema vyznachennia rozmiriv [Clothes. Standard sizing system]. Kyiv: Derzhspozhivstandart Ukrainy, 2007. 34 p. [in Ukrainian].
17. DSTU ISO8559: 2006 Odiah. Konstruiuvannia ta antropometrychne vymiriuvannia. Rozmiry liudskoho tila

вимірювання. Розміри людського тіла (ISO 8559:1989, IDT). [Чинність документа була відновлена з 02.02.2024]. Вид. офіц. Київ, Держспоживстандарт України, 2009. 10 с.

18. Славінська А. Л. Методи і способи антропометричних досліджень для проектування одягу: монографія. Хмельницький: ХНУ, 2012. 191 с.

(ISO 8559:1989, IDT) [Garment. Construction and anthropometric surveys Bodydimensions]. Kyiv Derzhspozhivstandard of Ukraine, 2009. 10 p. [in Ukrainian].

18. Slavinska, A.L. Methods and techniques of anthropometric research for clothing design: monograph. Khmelnytskyi: Khmelnytskyi National University, 2012. 191 p. [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції /  
Received 05.02.2026

Прийнята до друку /  
Accepted 27.02.2026

Опубліковано /  
Published 09.04.2026

УДК 685.34:677  
<https://doi.org/10.30857/2706-5898.2026.1.3>

### ГАРАНІНА ОЛЬГА

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна  
e-mail: [helgaranina@gmail.com](mailto:helgaranina@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-4715-3851>

### РЕДЬКО ЯНА

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна  
e-mail: [82yanet@gmail.com](mailto:82yanet@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-7284-6898>

### АНДРЕЄВА ОЛЬГА

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна  
e-mail: [andrejeva.aa@knu.edu.ua](mailto:andrejeva.aa@knu.edu.ua)  
<https://orcid.org/0000-0001-8374-2306>

### ВОРОБІЙОВ КИРИЛО

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна  
e-mail: [kiril.vorobjov@ukr.net](mailto:kiril.vorobjov@ukr.net)

## СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВЗУТТЄВИХ УСТІЛОК

**Мета** полягає в аналізі сучасного стану досліджень у галузі взуттєвих устілок, зокрема їх класифікації, матеріалів та конструктивних рішень, а також узагальнення властивостей і технологій виготовлення устілок з антибактеріальною дією.

**Методи.** Методи критичного аналізу, систематизації та узагальнення наукових публікацій і нормативно-довідкових джерел у галузі взуттєвого та текстильного виробництва. Для структурування типів устілок застосовано класифікаційний підхід, а для оцінки їх функціональних, гігієнічних та антибактеріальних властивостей — порівняльно-аналітичний метод. Аналіз багатошарових конструкцій устілок і формування мікроклімату взуття здійснено із використанням системно-структурного підходу.

**Результати.** Здійснено огляд сучасних наукових підходів до класифікації взуттєвих устілок, матеріалів їх виготовлення та антибактеріальних властивостей. Розглянуто вплив конструкції й матеріалів устілок на комфорт, гігієнічний стан і мікроклімат внутрішнього простору взуття. Узагальнено основні технології надання устілкам антимікробної дії та окреслено перспективи використання комбінованих і природних матеріалів для підвищення експлуатаційних і гігієнічних властивостей взуття.

**Наукова новизна** полягає в комплексному узагальненні та систематизації сучасних наукових даних щодо матеріалів, конструкцій і функціональних властивостей взуттєвих устілок з урахуванням їх гігієнічних та антибактеріальних характеристик. Уперше в межах оглядового дослідження структуровано взаємозв'язок між типом матеріалів устілок, багатошаровою будовою та ефективністю антибактеріальної дії в умовах формування мікроклімату взуття. Систематизовано основні технологічні підходи до надання устілкам антимікробних властивостей і визначено перспективні напрями використання комбінованих та природних матеріалів для підвищення експлуатаційних і гігієнічних показників взуттєвих виробів.

**Практична значимість** полягає в можливості подальшого використання отриманих результатів в якості теоретичної основи для проведення нових експериментальних досліджень і розроблення інноваційних конструкцій взуттєвих устілок з підвищеними гігієнічними та експлуатаційними властивостями.

**Ключові слова:** класифікація устілок; антибактеріальні характеристики; гігієнічні властивості; комфортність; текстильні матеріали.

# CURRENT STATE OF RESEARCH ON MATERIALS AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF FOOTWEAR INSOLES

HARANINA OLGA, REDKO YANA, ANDREYEVA OLGA, VOROBIOV KYRYLO  
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**Purpose.** The purpose of this paper is to analyze the current state of research in the field of footwear insoles, in particular their classification, materials, and design solutions, as well as to summarize the properties and manufacturing technologies of insoles with antibacterial effects.

**Methodology.** Methods of critical analysis, systematization, and synthesis of scientific publications and regulatory and reference sources in the fields of footwear and textile manufacturing were applied. A classification approach was used to structure types of insoles, while a comparative analytical method was employed to evaluate their functional, hygienic, and antibacterial properties. The analysis of multilayer insole structures and the formation of the footwear microclimate was carried out using a systems-structural approach.

**Results.** A review of current scientific approaches to the classification of footwear insoles, materials used for their production, and their antibacterial properties has been conducted. The influence of insole design and materials on comfort, hygienic condition, and the microclimate of the footwear interior has been examined. The main technologies for imparting antimicrobial properties to insoles have been summarized, and prospects for the use of combined and natural materials to improve the performance and hygienic characteristics of footwear have been identified.

**Scientific novelty.** The scientific novelty of this review lies in the comprehensive synthesis and systematization of contemporary scientific data on materials, structures, and functional properties of footwear insoles, taking into account their hygienic and antibacterial characteristics. For the first time within the scope of a review study, the relationship between insole material type, multilayer structure, and the effectiveness of antibacterial action under conditions of footwear microclimate formation has been structured. The main technological approaches to providing insoles with antimicrobial properties have been systematized, and promising directions for the use of combined and natural materials to enhance the performance and hygienic indicators of footwear products have been identified.

**Practical value.** The practical significance of the study lies in the possibility of using the obtained results as a theoretical basis for further experimental research and for the development of innovative footwear insole designs with improved hygienic and performance properties.

**Keywords:** insole classification; antibacterial properties; hygienic properties; comfort; textile materials.

**Вступ.** Устілки є важливою складовою конструкції взуття, яка безпосередньо контактує зі стопою та суттєво впливає на рівень комфорту, гігієнічність, терморегуляцію й експлуатаційні властивості взуттєвих виробів. У процесі носіння взуття формується специфічне мікросередовище, що характеризується підвищеною температурою, вологістю та обмеженою вентиляцією, створюючи сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів і накопичення продуктів їх життєдіяльності.

Наявність вологи та органічних речовин, що виділяються зі шкіри стопи, зумовлює інтенсивне розмноження бактерій і грибків, які є основними причинами виникнення неприємного запаху, погіршення гігієнічного стану взуття та підвищення ризику розвитку захворювань стоп.

Зазначена проблема має особливу практичну значущість для осіб із підвищеною фізичною активністю, спортсменів, військовослужбовців, людей похилого віку та осіб із хронічними захворюваннями, зокрема цукровим діабетом.

У наукових дослідженнях останніх десятиліть значна увага приділяється аналізу матеріалів устілок, їх фізико-механічних, гігієнічних та експлуатаційних властивостей, а також застосуванню різноманітних антибактеріальних і антимікробних компонентів. Водночас, результати таких досліджень є фрагментарними, охоплюють широкий спектр матеріалів і технологічних підходів та потребують систематизації й узагальнення.

У цьому контексті, важливим науковим завданням є комплексний огляд сучасних

підходів до класифікації устілок, матеріалів їх виготовлення, функціональних властивостей та механізмів антибактеріальної дії. Практичне значення такого аналізу полягає у формуванні цілісного уявлення про наявні типи устілок і їхні експлуатаційні можливості, що є необхідним для обґрунтованого вибору виробів залежно від умов використання та індивідуальних потреб споживачів.

Таким чином, узагальнення наукових даних щодо властивостей, класифікації та антибактеріальних характеристик взуттєвих устілок є актуальним завданням сучасної текстильної та взуттєвої науки і має безпосередній зв'язок із практичними питаннями забезпечення комфорту, гігієни та збереження здоров'я стоп.

**Аналіз попередніх досліджень.** Питання функціонального призначення, матеріалознавчих характеристик та гігієнічних властивостей взуттєвих устілок широко висвітлюються у працях вітчизняних і зарубіжних науковців. Значна частина досліджень присвячена аналізу впливу матеріалів устілок на комфорт носіння взуття, розподіл навантаження на стопу, терморегуляцію та мікроклімат внутрішнього простору взуття [1–6].

У роботах з матеріалознавства розглянуто властивості традиційних і сучасних матеріалів для виготовлення устілок, зокрема пінополіуретану, етиленвінілацетату (EVA), гелевих композицій, натуральної та штучної шкіри, а також текстильних і нетканих полотен. Дослідники відзначають, що вибір матеріалу суттєво впливає на амортизаційні властивості, зносостійкість, повітропроникність і здатність до поглинання вологи, що є ключовими показниками експлуатаційної якості устілок [7, 8].

Окремий напрям наукових публікацій присвячений ортопедичним устілкам та їх ролі у профілактиці й корекції порушень опорно-рухового апарату. У цих роботах акцентується увага на підтримці склепіння стопи, зменшенні больового синдрому та перерозподілі тиску під час ходьби. Водночас у більшості досліджень ортопедичний аспект розглядається переважно з медичної точки зору, без детального аналізу

гігієнічних і антимікробних властивостей матеріалів [9–12].

Значна кількість сучасних публікацій стосується антибактеріальних та протигрибкових устілок. У науковій літературі описано використання різних антимікробних агентів, зокрема іонів і наночастинок срібла, міді, цинку, активованого вугілля, триклозану, хітозану та природних антисептичних компонентів. Дослідження підтверджують ефективність таких речовин у пригніченні росту мікроорганізмів і зменшенні неприємного запаху, однак наголошують на необхідності контролю їх безпечності та екологічності [13–15].

У працях, присвячених текстильним матеріалам із антимікробними властивостями, розглядаються різні методи надання антибактеріальної дії: просочення, напилення, введення активних компонентів у структуру матеріалу на етапі виробництва. Водночас дослідження часто зосереджені на окремих матеріалах або технологіях, без комплексного порівняльного аналізу їх застосування саме у взуттєвих устілках [16–19].

Аналіз наукових джерел свідчить, що попри значну кількість публікацій, питання класифікації устілок, узагальнення їх матеріалів, функціональних та антибактеріальних властивостей розглядаються фрагментарно. Недостатньо систематизованими залишаються дані щодо поєднання матеріалів у багат шарових структурах устілок, а також впливу різних антимікробних рішень на експлуатаційні та гігієнічні показники взуття в цілому.

Таким чином, проведений аналіз досліджень і публікацій підтверджує актуальність узагальнення наявних наукових даних щодо типів устілок, матеріалів їх виготовлення та антибактеріальних характеристик, що є необхідним для формування цілісного уявлення про сучасний стан проблеми у взуттєвій та текстильній галузях.

**Постановка завдання.** На основі аналізу сучасних досліджень для досягнення поставленої мети передбачається вирішення таких завдань: проаналізувати основні типи та класифікації взуттєвих устілок залежно

від призначення, матеріалів і функціональних властивостей; узагальнити характеристики матеріалів, що застосовуються у виробництві устілок; дослідити ключові ознаки та механізми дії антибактеріальних устілок; систематизувати сучасні технологічні підходи до виготовлення устілок антибактеріального призначення; оцінити перспективи використання природних і комбінованих антимікробних матеріалів у взуттєвій індустрії.

**Методи дослідження.** У роботі використано методи аналізу та узагальнення наукових джерел, систематизації та порівняльного аналізу літературних даних вітчизняних і зарубіжних авторів. Застосовано логіко-аналітичний метод для узагальнення підходів до класифікації взуттєвих устілок, матеріалознавчий аналіз — для оцінки властивостей матеріалів і багатошарових конструкцій устілок, а також структурно-функціональний підхід для аналізу механізмів антибактеріальної дії та впливу устілок на комфорт і гігієнічний стан внутрішнього простору взуття.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Взуттєві устілки є важливим конструктивним елементом взуття, який безпосередньо контактує зі стопою та суттєво впливає на комфорт, гігієнічний стан і функціональні властивості взуттєвих виробів. У сучасній науковій літературі устілки розглядаються як багатофункціональні вироби, що поєднують у собі амортизаційні, ортопедичні, терморегуляційні та гігієнічні властивості, а також здатність формувати сприятливий мікроклімат усередині взуття [20–22].

Залежно від призначення, умов експлуатації та індивідуальних особливостей користувача устілки класифікують за функціональним призначенням, матеріалом виготовлення, конструкцією та наявністю спеціальних властивостей. Найбільш поширеними є устілки повсякденного використання, спортивні, ортопедичні, термоізоляційні та антибактеріальні. Кожен із зазначених типів має свої характерні особливості, що визначаються поєднанням матеріалів і конструктивних рішень [23–26].

«Пакети текстильних матеріалів» у взуттєвому виробництві застосовуються для формування верху, підкладки, устілок та інших конструктивних елементів і забезпечують необхідний баланс між захистом, міцністю, комфортом і довговічністю виробу в умовах механічних навантажень, дії вологи та деформацій [3]. Зазвичай, такі пакети мають багатошарову структуру. Зовнішній шар, виконаний із тканин, шкіри або сітчастих матеріалів, відповідає за зносостійкість, водовідштовхування, захист та естетику, тоді як внутрішній шар (натуральна шкіра, трикотаж або неткані матеріали) забезпечує комфорт, відведення вологи та зменшення натирань. Між ними можуть розміщуватися проміжні функціональні прошарки (піни, підсилювачі, стабілізатори), що підвищують формостійкість, жорсткість окремих зон і амортизаційні властивості [4].

Для взуття спеціального призначення використовують гідрофобні, вогнестійкі, антистатичні та теплоізоляційні матеріали, а також підсилені елементи носкової і п'яткової частин, що забезпечує експлуатацію в екстремальних температурних умовах [27]. Устілки як складова взуттєвої конструкції є важливим елементом таких пакетів і зазвичай мають багатошарову будову, що поєднує текстильні матеріали для поглинання вологи, амортизаційні шари, антибактеріальні або вугільні наповнювачі та стабілізуючі термопластичні прошарки [5]. Зокрема, пакети для текстильних устілок із натуральної повсті з антибактеріальними властивостями спрямовані на підвищення комфорту, гігієнічності та теплоізоляції, що робить їх придатними для повсякденного, зимового, спортивного й спеціального взуття [6]. Функціональний верхній шар устілки з антибактеріального текстилю забезпечує гігієнічність, швидку абсорбцію вологи та комфорт при тривалій експлуатації взуття [28]. Устілки-ортези призначені для стабілізації стопи та профілактики захворювань опорно-рухового апарату. Завдяки підтримці склепіння та амортизації вони зменшують больовий синдром при існуючих патологіях, сприяють корекції анатомічних

дефектів та забезпечують гігієнічність внутрішнього простору взуття [9, 10].

Матеріалознавчий аспект є одним із ключових у формуванні експлуатаційних характеристик устілок. Для їх виготовлення широко застосовуються пінополіуретан, етиленвінілацетат (EVA), гелеві композиції, натуральна та штучна шкіра, текстильні й неткані матеріали. Пориста структура пінних матеріалів забезпечує ефективну амортизацію та зменшення ударних навантажень, тоді як текстильні та шкіряні матеріали сприяють підвищенню повітропроникності та вологообміну. У багатьох випадках устілки мають багат шарову структуру, у якій кожен шар виконує окрему функцію –

від контакту зі стопою до стабілізації форми та підвищення зносостійкості [7, 8]. До основних характерних властивостей устілок можна віднести такі: матеріал, амортизація, водопоглинання та вологовідштовхування, міцність і довговічність, антибактеріальні властивості, ортопедичний ефект, повітропроникність, гнучкість та зручність, розмір та форма, терморегуляція [20]. Важливим є матеріал, з якого виготовляються устілки взуттєві, до видів якого можна віднести (таблиця 1) [7, 8].

Серед ключових властивостей устілок варто виділити такі, як: антибактеріальний та ортопедичний ефект; повітропроникність; гнучкість, терморегуляція та інші (рис. 1).

Таблиця 1

### Характеристика основних матеріалів для устілок

Матеріал	Характеристика
Пінополіуретан (PU)	легкість, що забезпечує пориста структура; амортизація (пінополіуретан добре поглинає удари та вібрації); водопоглинання та вологостійкість; міцність і довговічність (пінополіуретан стійкий до зносу та має високу міцність на розтягнення); гнучкість (адаптивність до форми стопи).
Гель	амортизація, комфортність, довговічність, термостійкість, вологостійкість, прозорість і естетика
Шкіра	міцність і довговічність, повітропроникність, натуральність, естетика, гнучкість і комфорт, термостійкість, вологостійкість.
Піна EVA (етиленвінілацетат)	легкість, еластичність, теплозахист, зносостійкість, який широко використовується у виготовленні саме спортивного взуття завдяки своїм властивостям, таким як амортизація та комфорт.
Текстильні матеріали	легкість, спеціальні властивості (наприклад, антибактеріальний захист). Дозволяють зробити носіння взуття комфортнішим, особливо в умовах тривалого використання.



Рис. 1. Гігієнічні показники антибактеріальних текстильних матеріалів

Таким чином, ключові функціональні властивості взуттєвих устілок – це:

1. Антибактеріальна дія та гігієнічність. Антибактеріальні властивості устілок досягаються шляхом просочення матеріалів дезінфікуючими засобами, активованим вугіллям або біоактивними іонами срібла [29]. Це важливо для: нейтралізації неприємних запахів; запобігання поширенню грибкових і бактеріальних інфекцій; захисту стоп у людей з діабетом

або порушенням кровообігу, які мають підвищену чутливість до інфекцій.

2. Ортопедична підтримка та комфорт. Ортопедичні устілки коригують поставу, підтримують склепіння стопи та покращують рівновагу, сприяють реабілітації суглобів [30]. М'якість та ергономічність матеріалів запобігають розвитку артритів і виникненню мозолів, що часто є наслідком експлуатації деформованих або неякісних устілок.

3. Повітропроникність та терморегуляція. Здатність матеріалу пропускати повітря є вирішальною для підтримання оптимальної вологості. Належна терморегуляція запобігає перегріву або замерзанню стоп, підтримуючи стабільний кровообіг [30, 31]. Це особливо важливо для спортивного взуття та засобів індивідуального захисту, що використовуються в екстремальних погодних умовах.

4. Антропометрична відповідність (розмір та форма). Точність підбору розміру та анатомічної форми устілки визначає

біомеханіку ходьби. Невідповідність параметрів призводить до тертя, дискомфорту та травматизації стопи [10, 30, 31].

З огляду на основні причини носіння устілок, з урахування вікових особливостей деформацій стоп, устілки можна класифікувати за різними ознаками в залежності від їхнього призначення, матеріалів, конструкції та функціональних властивостей. Нижче наведено деякі з основних класифікаційних ознак устілок (таблиця 2) [37–39].

Таблиця 2

### Класифікація взуттєвих устілок за основними ознаками

Ознака класифікації	Вид (тип) устілки	Характеристика та функціональне призначення
За призначенням	Повсякденні	Забезпечення базового комфорту при щоденній експлуатації.
	Спортивні	Підтримка стопи та посилена амортизація під час фізичних навантажень
	Ортопедичні (медицині)	Корекція патологій (плоскостопість, артрити), усунення болю та деформацій.
	Термальні	Акумуляція та збереження тепла у холодну пору року
	Антибактеріальні	Запобігання розвитку мікрофлори та нейтралізація неприємних запахів
За матеріалом	Шкіряні	Висока зносостійкість та відмінна природна повітропроникність
	Текстильні	Легкість, тактильний комфорт та зручність у догляді.
	Гелеві	Максимальна амортизація ударних навантажень та м'якість
	Пінополіуретанові	Підвищена адаптивність до форми стопи та довговічність
	Натуральні	Екологічність та специфічна гігроскопічність матеріалів.
За конструкцією	Одношарові	Проста плоска структура з однорідного матеріалу.
	Багатшарові	Композитні пакети, де кожен прошарок виконує окрему функцію.
	Профільовані	Наявність супінаторів, вигинів та вкладишів для підтримки арки стопи.
За функціональністю	Амортизуючі	Зниження ударного навантаження на суглоби та хребет.
	Коригуючі	Фіксація та підтримка анатомічно правильного положення стопи.
	Масажні	Стимуляція м'язів та покращення мікроциркуляції крові.
	Водонепроникні	Захист від вологи в екстремальних умовах експлуатації
	Антиковзаючі	Наявність покриття для стабілізації стопи всередині взуття

Особливу увагу в сучасних дослідженнях приділено гігієнічним властивостям устілок, зокрема здатності запобігати накопиченню вологи, розвитку мікроорганізмів та появи неприємного запаху. Внутрішній простір взуття характеризується підвищеною температурою та вологістю, що створює сприятливі умови для розмноження бактерій і грибків. У цьому контексті важливого значення набувають антибактеріальні устілки, які містять спеціальні антимікробні компоненти або виготовляються з матеріалів із природними антибактеріальними властивостями. У наукових публікаціях описано різні підходи

до надання устілкам антибактеріальної дії, зокрема використання іонів та наночастинок срібла, міді, цинку, активованого вугілля, хітозану, а також органічних і природних антисептичних речовин. Такі компоненти можуть вводитися у структуру матеріалу на етапі його виготовлення або наноситися у вигляді покриттів і просочень. Дослідження підтверджують, що антибактеріальні устілки здатні знижувати чисельність патогенних мікроорганізмів, покращувати гігієнічний стан взуття та сприяти профілактиці грибкових і бактеріальних захворювань стоп [13–15, 18, 32]. Ефективність антибактеріальних

устілок визначається комплексом технологічних рішень, спрямованих на підтримання гігієни та здоров'я стопи (таблиця 3) [13–15, 18, 32, 33].

**Висновки.** У результаті проведеного огляду наукових джерел встановлено, що взуттєві устілки є важливим багатофункціональним елементом конструкції взуття, який суттєво впливає на комфорт, гігієнічний стан, терморегуляцію та експлуатаційні властивості взуттєвих виробів. Аналіз показав, що сучасні устілки розглядаються не лише як допоміжна складова взуття, а як складний багатошаровий виріб, у якому поєднуються амортизаційні, ортопедичні, гігієнічні та захисні функції.

Узагальнення наукових публікацій дозволило систематизувати основні підходи до класифікації устілок за призначенням, матеріалами виготовлення, конструктивними особливостями та функціональними властивостями. Встановлено, що вибір матеріалів (пінополіуретан, EVA, гелеві композиції, натуральна і штучна шкіра, текстильні та неткані полотна) визначає рівень амортизації, повітропроникності, вологообміну, зносостійкості та комфорту під час експлуатації. Особливу роль відіграють багатошарові конструкції устілок, у яких кожен прошарок виконує чітко визначену функцію та забезпечує баланс між гігієнічними й механічними властивостями.

Таблиця 3

### Функціональні характеристики та технологічні особливості антибактеріальних устілок

Характеристика	Технологічне рішення / Опис	Результат та переваги
Антимікробна активність	Обробка іонами срібла, міді або спеціальними антисептиками	Пригнічення росту грибків та бактерій; профілактика інфекцій.
Дезодоруючий ефект	Хімічна нейтралізація продуктів розпаду мікроорганізмів	Запобігання появі неприємного запаху при потовиділенні.
Гідротермічна регуляція	Використання пористих мембран та гідрофільних текстильних матеріалів	Ефективне відведення вологи; підтримка сухого мікроклімату стопи.
Експлуатаційна стійкість	Глибоке просочення або нанесення захисного покриття на волокна	Збереження властивостей після тривалого носіння та багаторазового прання.
Біосумісність	Використання гіпоалергенних складів та інертних полімерів	Мінімізація ризику подразнень та алергічних реакцій шкіри.
Масажний ефект	Хвиляста (профільована) поверхня окремих моделей	Покращення мікроциркуляції крові; зменшення втоми ніг.
Матеріальна база	Комбінування текстилю, пінок, гелів, мембран або натуральної шкіри	Можливість адаптації устілки під конкретні умови експлуатації.

Проведений аналіз підтвердив актуальність використання антибактеріальних та антимікробних компонентів в устілках для запобігання розвитку патогенної мікрофлори, нейтралізації неприємного запаху та підтримання здорового мікроклімату стопи. Наукові джерела свідчать про ефективність застосування іонів і наночастинок металів, активованого вугілля, хітозану та природних антисептичних речовин, водночас наголошуючи на необхідності комплексної оцінки їх біосумісності, довговічності та екологічної безпечності.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямі доцільно пов'язувати з комплексним вивченням багатошарових конструкцій устілок, оптимізацією поєднання текстильних, полімерних і природних

матеріалів, а також розробленням екологічно безпечних антибактеріальних технологій із пролонгованою дією. Актуальними є експериментальні дослідження впливу антибактеріальних устілок на мікроклімат взуття за різних умов експлуатації, а також оцінка їх ефективності для різних груп споживачів (спортсменів, військовослужбовців, людей похилого віку та осіб із хронічними захворюваннями).

Отримані узагальнення можуть слугувати науково-теоретичною основою для подальших прикладних досліджень і створення інноваційних взуттєвих устілок із підвищеними гігієнічними, антибактеріальними та експлуатаційними властивостями, що відповідають сучасним вимогам взуттєвої та текстильної промисловості.

## Література

1. Handbook of fibrous materials / ed. by J. Hu, B. Kumar, J. Lu. Wiley, 2020. 1040 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9783527342587>.
2. Chang Y., Wang X. Sweat and odor in sportswear – A review. *IScience*. 2023. Vol. 26, no. 7. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107067>.
3. Jankauskaitė V. et al. Influence of the structure of footwear upper and lining materials on their electrical properties. *Fibres and textiles in Eastern Europe*. 2018. Vol. 26, No. 2(128). P. 87–92. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0011.5744>.
4. Rafikov A., Mirzayev N., Alimkhanova S. Multilayer nonwoven lining materials made of wool and cotton for clothing and footwear. *Journal of industrial textiles*. 2022. Vol. 51, No. 4\_S. P. 6173S–6194S. DOI: <https://doi.org/10.1177/15280837211060881>.
5. Chiu H.-T., Shiang T.-Y. Effects of insoles and additional shock absorption foam on the cushioning properties of sport shoes. *Journal of applied biomechanics*. 2007. Vol. 23, No. 2. P. 119–127. DOI: <https://doi.org/10.1123/jab.23.2.119>.
6. Irzmańska E. et al. Evaluation of functional insoles for protective footwear under simulated use conditions / E. Irzmańska et al. *Autex research journal*. 2020. Vol. 22, No. 1. P. 26–34. DOI: <https://doi.org/10.2478/aut-2020-0045>.
7. Головка М. П. та ін. Товарознавство одягово-взуттєвих товарів: навч. посібник. Харків: ХДУХТ, 2015. 459 с.
8. Рибальченко В. В., Коновал В. П., Дрегуляс Е. П. Матеріалознавство виробів легкої промисловості. Методи випробувань: навч. посібник. Київ: КНУТД, 2010. 395 с.
9. Сивоконь М. Л. Розробка методологічних принципів проектування та виготовлення індивідуальних ортезів для ходіння з м'яких пластичних матеріалів: магістерська робота: спец. 131 – прикладна механіка / наук. керівник В. О. Залога. Суми: СумДУ, 2019. 65 с.
10. Олійникова В. В., Бабич А. І., Гондарчук П. М., Марущенко О. В. Індивідуальні ортопедичні устілки та їх виготовлення. *Вісник КНУТД*. 2010. № 4. С. 50–53.
11. Гаркавенко С. С., Ковальчук О. В., Первая Н. В., Пруднікова Н. Д. Взуття спеціального призначення з активним впливом на рефлекторні точки ноги: монографія. Київ: КНУТД, 2017. 116 с.
12. Гаврилко В. М. Нормативно-технічне забезпечення якості та безпеки матеріалів для ортопедичних медичних виробів: магістерська

## References

1. Hu, J., Kumar, B., & Lu, J. (eds.) (2020). Handbook of fibrous materials. Wiley. 1040 p. <https://doi.org/10.1002/9783527342587>.
2. Chang, Y., Wang, X. (2023). Sweat and odor in sportswear – A review. *IScience*, 26(7), 1–17, <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107067>.
3. Jankauskaitė, V. et al. (2018). Influence of the structure of footwear upper and lining materials on their electrical properties. *Fibres and textiles in Eastern Europe*, 26(2(128)), 87–92, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0011.5744>.
4. Rafikov, A., Mirzayev, N., & Alimkhanova, S. (2022). Multilayer nonwoven lining materials made of wool and cotton for clothing and footwear. *Journal of industrial textiles*, 51(4\_S), 6173S–6194S. DOI: <https://doi.org/10.1177/15280837211060881>.
5. Chiu, H.-T., & Shiang, T.-Y. (2007). Effects of insoles and additional shock absorption foam on the cushioning properties of sport shoes. *Journal of applied biomechanics*, 23(2), 119–127, <https://doi.org/10.1123/jab.23.2.119>.
6. Irzmańska, E. et al. (2020). Evaluation of functional insoles for protective footwear under simulated use conditions. *Autex research journal*, 22(1), 26–34, <https://doi.org/10.2478/aut-2020-0045>.
7. Holovko, M. P. et al. (2015). *Tovarovnavstvo odiahovo-vzuttievykh tovariv: navch. posibnyk* [Merchandising of clothing and footwear products: a textbook]. Kharkiv: KhDUKhT. 459 p. [in Ukrainian].
8. Rybalchenko, V. V., Konoval, V. P., & Drehulias, E. P. (2010). *Materialoznavstvo vyrobiv lehkoj promyslovosti. Metody vyprobuvan: navch. posibnyk* [Materials science of light industry products. Test methods: textbook]. Kyiv: KNUTD. 395 p. [in Ukrainian].
9. Syvokon, M. L. (2019). *Rozrobka metodolohichnykh pryntsyviv proektuvannia ta vyhotovlennia indyvidualnykh orteziv dlia khodinnia z miakykh plastychnykh materialiv* [Development of methodological principles for the design and manufacture of individual walking orthoses from soft plastic materials: master's thesis: speciality 131 – applied mechanics]. Scientific supervisor V. O. Zalog. Sumy: SumDU. 65 p. [in Ukrainian].
10. Oliinykova, V. V., Babych, A. I., Hondarchuk, P. M., & Marushchenko, O. V. (2010). *Indyvidualni ortopedychni ustilky ta yikh vyhotovlennia* [Individual orthopedic insoles and their production]. *Visnyk KNUTD*, 4, 50–53 [in Ukrainian].
11. Harkavenko, S. S., Kovalchuk, O. V., Pervaia, N. V., & Prudnikova, N. D. (2017). *Vzuttia spetsialnoho pryznachennia z aktyvnyim vplyvom na reflektorni tochky nohy: monohrafiia* [Special-purpose footwear with an active effect on the reflex points of the foot: monograph]. Kyiv: KNUTD. 116 p. [in Ukrainian].
12. Havrylko, V. M. (2020). *Normatyvno-tekhniche zabezpechennia yakosti ta bezpeky materialiv dlia ortopedychnykh medychnykh vyrobiv* [Regulatory and technical assurance of quality and safety of materials for

робота: спец. 152 – метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка / наук. керівник К. О. Дядюра. Суми: СумДУ, 2020. 100 с.

13. Koire İ., Menceloğlu Y., Şanlı N. Antibacterial efficiency of quaternary ammonium silane-coated shoe insoles using the sol-gel technique. *Turkish journal of bioscience and collections*. 2024. Vol. 8, No. 2. P. 111–119. DOI: <https://doi.org/10.26650/tjbc.1523112>.

14. Gupta A. K., Simkovich A. J., Hall D. C. The march against onychomycosis: a systematic review of the sanitization methods for shoes, socks, and textiles. *Journal of the american podiatric medical association*. 2022. Vol. 112, No. 4. P. 1–34. DOI: <https://doi.org/10.7547/21-223>.

15. Rodriguez C. et al. Antibacterial effects of photocatalytic textiles for footwear application. *Catalysis today*. 2014. Vol. 230. P. 41–46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2013.12.023>.

16. Yılmaz B., Karavana H. A. Application of Chitosan-Encapsulated Orange Oil onto Footwear Insock Leathers: spray drying technique for an environmentally sustainable antibacterial formulation. *Johnson matthey technology review*. 2020. Vol. 64, No. 4. P. 443–451. DOI: <https://doi.org/10.1595/205651320x15901340190139>.

17. Jain A. K., Tesema A. F. Development of antimicrobial textiles using zinc pyrithione. *Research journal of textile and apparel*. 2017. Vol. 21, No. 3. P. 188–202. DOI: <https://doi.org/10.1108/rjta-06-2017-0031>.

18. Варданян А., Редько Я. Антибактеріальні агенти для створення текстильних матеріалів – сучасний стан та тенденції розвитку. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2024. Т. 333, № 2. С. 112–119. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-333-2-17>.

19. Варданян А. О., Гараніна О. О., Редько Я. В. Дослідження комплексних показників якості антибактеріальних текстильних матеріалів. *Fashion industry*. 2024. № 1. С. 61–70. DOI: <https://doi.org/10.30857/2706-5898.2024.1.3>.

20. Yick K.-L., Tse C.-Y. The use of textiles and materials for orthopedic footwear insoles. *Handbook of footwear design and manufacture*. 2021. P. 361–388. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821606-4.00012-0>.

21. Messaoud M. et al. Physical and mechanical characterizations of recyclable insole product based on new 3D textile structure developed by the use of a patented vertical-lapping process. *Journal of industrial textiles*. 2013. Vol. 44, No. 4. P. 497–512. DOI: <https://doi.org/10.1177/1528083713502996>.

22. Yick K. L., Tse C. Y. Textiles and other materials for orthopaedic footwear insoles. *Handbook of footwear design and manufacture*. 2013. P. 341–371. DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857098795.4.341>.

orthopedic medical devices: master's thesis: speciality 152 – metrology and information and measuring technology]. Scientific supervisor K. O. Dyadyura. Sumy: SumDU. 100 p. [in Ukrainian].

13. Koire, İ., Menceloğlu, Y., & Şanlı, N. (2024). Antibacterial efficiency of quaternary ammonium silane-coated shoe insoles using the sol-gel technique. *Turkish journal of bioscience and collections*, 8(2), 111–119. <https://doi.org/10.26650/tjbc.1523112>.

14. Gupta, A. K., Simkovich, A. J., & Hall, D. C. (2022). The march against onychomycosis: a systematic review of the sanitization methods for shoes, socks, and textiles. *Journal of the american podiatric medical association*, 112(4), 1–34. <https://doi.org/10.7547/21-223>.

15. Rodriguez, C. et al. (2014). Antibacterial effects of photocatalytic textiles for footwear application. *Catalysis today*, 230, 41–46. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2013.12.023>.

16. Yılmaz, B., & Karavana, H. A. (2020). Application of Chitosan-Encapsulated Orange Oil onto Footwear Insock Leathers: spray drying technique for an environmentally sustainable antibacterial formulation. *Johnson matthey technology review*, 64(4), 443–451. <https://doi.org/10.1595/205651320x15901340190139>.

17. Jain, A. K., & Tesema, A. F. (2017). Development of antimicrobial textiles using zinc pyrithione. *Research journal of textile and apparel*, 21(3), 188–202. <https://doi.org/10.1108/rjta-06-2017-0031>.

18. Vardanian, A., & Redko Ya. (2024). Antybakterialni ahenty dlia stvorennia tekstylnykh materialiv – suchasnyi stan ta tendentsii rozvytku [Antibacterial agents for the creation of textile materials – current status and development trends]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, 333(2), 112–119. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-333-2-17> [in Ukrainian].

19. Vardanian, A. O., Haranina, O. O., & Redko, Ya. V. (2024). Doslidzhennia kompleksnykh pokaznykiv yakosti antybakterialnykh tekstylnykh materialiv [Research on comprehensive quality indicators of antibacterial textile materials]. *Fashion industry*, 1, 61–70. <https://doi.org/10.30857/2706-5898.2024.1.3> [in Ukrainian].

20. Yick, K.-L., & Tse, C.-Y. (2021). The use of textiles and materials for orthopedic footwear insoles. *Handbook of footwear design and manufacture* (pp. 361–388). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821606-4.00012-0>.

21. Messaoud, M. et al. (2013). Physical and mechanical characterizations of recyclable insole product based on new 3D textile structure developed by the use of a patented vertical-lapping process. *Journal of industrial textiles*, 44(4), 497–512. <https://doi.org/10.1177/1528083713502996>.

22. Yick, K. L., & Tse, C. Y. (2013). Textiles and other materials for orthopaedic footwear insoles. *Handbook of footwear design and manufacture* (pp. 341–371). <https://doi.org/10.1533/9780857098795.4.341>.

23. Mendes A. A. M. T. et al. Main types of insoles described in the literature and their applicability for musculoskeletal disorders of the lower limbs: a systematic review of clinical studies. *Journal of bodywork and movement therapies*. 2020. Vol. 24, No. 4. P. 29–36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2020.06.001>.

24. Perry S. D. et al. Efficacy and effectiveness of a balance-enhancing insole. *The journals of gerontology series A: biological sciences and medical sciences*. 2008. Vol. 63, No. 6. P. 595–602. DOI: <https://doi.org/10.1093/gerona/63.6.595>.

25. Healy A., Dunning D. N., Chockalingam N. Materials used for footwear orthoses: a review. *Footwear science*. 2010. Vol. 2, No. 2. P. 93–110. DOI: <https://doi.org/10.1080/19424280.2010.486045>.

26. Healy A., Dunning D., Chockalingam N. Effect of insole material on plantar pressure. *Footwear science*. 2011. Vol. 3, Sup. 1. P. S69–S70. DOI: <https://doi.org/10.1080/19424280.2011.575804>.

27. Raha S. Documentation on protective textile: existing technical textile products & new developments. *International journal for multidisciplinary research*. 2025. Vol. 7, No. 3. DOI: <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i03.48306>.

28. Naseem Z. et al. An innovative approach to enhance the durability and sustainability of shoe insoles. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No. 21. Art. 9195. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16219195>.

29. Marques S. M. et al. Antimicrobial TiN-Ag coatings in leather insole for diabetic foot. *Materials*. 2022. Vol. 15, No. 6. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15062009>.

30. Чертенко Л., Кернеш В., Кузіна Н. Індивідуалізація ортопедичного взуття: ключові фактори при проектуванні. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2024. Т. 339, № 4. С. 491–496. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-339-4-72>.

31. Афанасьєва В. А. та ін. Товарознавство одягово-взуттєвих товарів: навч. посібник. Харків: ХАІ, 2010. 181 с.

32. Гараніна О. О. та ін. Застосування інтенсифікатора з антибактеріальною дією при фарбуванні бавовняно-поліестерних текстильних матеріалів. *Fashion industry*. 2023. № 1. С. 29–36. DOI: <https://doi.org/10.30857/2706-5898.2023.1.2>.

33. Martínez M. Antimicrobial materials. *Health and Safety International*. URL: <https://www.healthandsafetyinternational.com/article/1842883/antimicrobial-materials> (date of access: 03.02.2026).

23. Mendes, A. A. M. T. et al. (2020). Main types of insoles described in the literature and their applicability for musculoskeletal disorders of the lower limbs: a systematic review of clinical studies. *Journal of bodywork and movement therapies*, 24(4), 29–36, <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2020.06.001>.

24. Perry, S. D. et al. (2008). Efficacy and effectiveness of a balance-enhancing insole. *The journals of gerontology series A: biological sciences and medical sciences*, 63(6), 595–602, <https://doi.org/10.1093/gerona/63.6.595>.

25. Healy, A., Dunning, D. N., & Chockalingam, N. (2010). Materials used for footwear orthoses: a review. *Footwear science*, 2(2), 93–110, <https://doi.org/10.1080/19424280.2010.486045>.

26. Healy, A., Dunning, D., & Chockalingam, N. (2011). Effect of insole material on plantar pressure. *Footwear science*, 3(1), S69–S70, <https://doi.org/10.1080/19424280.2011.575804>.

27. Raha, S. (2025). Documentation on protective textile: existing technical textile products & new developments. *International journal for multidisciplinary research*, 7(3), <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i03.48306>.

28. Naseem, Z. et al. (2024). An innovative approach to enhance the durability and sustainability of shoe insoles. *Sustainability*, 16(21), 9195, <https://doi.org/10.3390/su16219195>.

29. Marques, S. M. et al. (2022). Antimicrobial TiN-Ag coatings in leather insole for diabetic foot. *Materials*, 15(6), 1–14, <https://doi.org/10.3390/ma15062009>.

30. Chertenko, L., Kernesh, V., & Kuzina, N. (2024). Indyvidualizatsiia ortopedychnoho vzuttia: kliuchovi faktory pry proektuvanni [Individualization of orthopedic footwear: key factors in design]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, 339(4), 491–496, <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-339-4-72> [in Ukrainian].

31. Afanasieva, V. A. et al. (2010). Tovaroznavstvo odiahovo-vzuttievkykh tovariv: navch. posibnyk [Merchandising of clothing and footwear products: a textbook]. Kharkiv: KhAI. 181 p. [in Ukrainian].

32. Haranina, O. O. et al. (2023). Zastosuvannia intensyfikatora z antybakterialnoiu diieiu pry farbuванні bavovnyano-poliefirnykh tekstylnykh materialiv [Application of an intensifier with antibacterial effect when dyeing cotton-polyester textile materials]. *Fashion industry*, 1, 29–36, <https://doi.org/10.30857/2706-5898.2023.1.2> [in Ukrainian].

33. Martínez, M. (n.d.). Antimicrobial materials. *Health and Safety International*. URL: <https://www.healthandsafetyinternational.com/article/1842883/antimicrobial-materials> (date of access: 03.02.2026).

**МИХАЙЛОВСЬКА ОКСАНА**

Хмельницький національний університет, Україна

e-mail: [mykhailovskao@khmnu.edu.ua](mailto:mykhailovskao@khmnu.edu.ua)<https://orcid.org/0000-0001-5025-6571>**ГЕЙВАЩУК СВІТЛАНА**

Хмельницький національний університет, Україна

e-mail: [heivashchuksm@khmnu.edu.ua](mailto:heivashchuksm@khmnu.edu.ua)<https://orcid.org/0009-0007-1478-6461>

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕРГОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИТЯЧОГО АДАПТИВНОГО ВЗУТТЯ

**Мета.** Теоретичне обґрунтування та розробка комплексної системи ергономічних показників дитячого адаптивного взуття, що забезпечують цілісну єдність фізичного комфорту та позитивного психоемоційного стану дитини в процесі експлуатації виробу.

**Методи.** У дослідженні було застосовано комплексний підхід, що охоплював аналіз морфофункціональних особливостей стоп дітей з порушеннями опорно-рухового апарату та психоемоційної (сенсорної) сфери, методи ергономічного моделювання конструктивних рішень, профілювання користувачів для визначення специфічних потреб цільової групи, а також метод апріорної верифікації для прогнозування відповідності проекту інклюзивним вимогам на передпроектній стадії.

**Результати.** У результаті дослідження ідентифіковано, що ергономіка адаптивного взуття базується на трьох фундаментальних групах показників: антропометричних (відповідність внутрішніх параметрів взуття об'єму стопи, за необхідності з урахуванням ортезів), біомеханічних (забезпечення коректної стабілізації гомілковостопного суглоба та підтримки фізіологічного перекату стопи) і сенсорно-психологічних. Особливу увагу приділено параметрам «вхідного отвору» конструкції та інноваційним системам фіксації. Доведено, що можливість максимального розкриття взуття у поєднанні з інтуїтивно зрозумілими елементами застібання (магнітні фіксатори, кругові блискавки) є критичним фактором формування автономії дитини. Мінімізація сторонньої допомоги під час взування сприяє підвищенню самооцінки та зниженню рівня тривожності дитини.

**Наукова новизна.** Ключовим науковим досягненням роботи є розробка алгоритму формування профілю користувача, що інтегрує медичні показання з індивідуальною сенсорною чутливістю. Встановлено пряму залежність між тактильними характеристиками внутрішнього простору взуття та когнітивним навантаженням на нервову систему дитини: застосування безшовних технологій та паропроникних матеріалів запобігає сенсорному перевантаженню і сприяє пролонгації фізичної активності.

**Практична значимість.** Отримані результати лягли в основу науково обґрунтованих рекомендацій для дизайнерів та конструкторів спеціалізованого взуття. Запропонований підхід дозволяє створювати вироби, що інтегрують медичну функцію в естетику сучасного дизайну, сприяючи соціальній інклюзії. Висновки статті можуть бути впроваджені у виробництво нових лінійок дитячого адаптивного взуття, а також використані в клінічній практиці реабілітологів та протезистів.

**Ключові слова:** дитяче адаптивне взуття; ергономічні показники; психоемоційний стан; автономія взування; профілювання користувача; біомеханіка ходи; інклюзивний дизайн; сенсорна чутливість; апіорна верифікація; асистивні вироби.

## DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF ERGONOMIC INDICATORS FOR CHILDREN'S ADAPTIVE FOOTWEAR

MYKHAILOVSKAA OKSANA, HEIVASHCHUK SVITLANA

Khmelnytskyi National University, Ukraine

**Purpose.** Theoretical substantiation and development of a comprehensive system of ergonomic indicators for children's adaptive footwear, ensuring a holistic unity of physical comfort and the child's positive psycho-emotional state during product use.

**Methodology.** The study employed a comprehensive approach, including the analysis of morphofunctional characteristics of the feet in children with musculoskeletal and psycho-emotional (sensory) disorders. It utilized ergonomic modeling of structural solutions, user profiling to identify specific needs of the target group, and the method of a priori verification to predict project compliance with inclusive requirements at the pre-design stage.

**Results.** The study identified that the ergonomics of adaptive footwear is based on three fundamental groups of indicators: anthropometric (compliance of internal footwear parameters with foot volume, accounting for orthoses where necessary), biomechanical (ensuring correct stabilization of the ankle joint and supporting the physiological roll of the foot), and sensory-psychological. Special attention is paid to the parameters of the footwear "entry point" and innovative fixation systems. It is proven that the possibility of maximum footwear opening, combined with intuitive fastening elements (magnetic fasteners, circular zippers), is a critical factor in fostering a child's autonomy. Minimizing external assistance during the donning process contributes to increased self-esteem and reduced anxiety levels in the child.

**Scientific novelty.** The key scientific achievement of the work is the development of an algorithm for creating a user profile that integrates medical indications with individual sensory sensitivity. A direct correlation was established between the tactile characteristics of the footwear's internal space and the cognitive load on the child's nervous system: the use of seamless technologies and breathable materials prevents sensory overload and promotes prolonged physical activity.

**Practical significance.** The results obtained form the basis of science-based recommendations for designers and engineers of specialized footwear. The proposed approach allows for the creation of products that integrate medical functions into modern design aesthetics, promoting social inclusion. The article's conclusions can be implemented in the production of new lines of children's adaptive footwear and utilized in the clinical practice of rehabilitation specialists and prosthetists.

**Keywords:** children's adaptive footwear; ergonomic indicators; psycho-emotional state; donning autonomy; user profiling; gait biomechanics; inclusive design; sensory sensitivity; a priori verification; assistive products.

**Вступ.** Проблема соціальної інтеграції та фізичної реабілітації дітей з порушеннями опорно-рухового апарату та психоемоційної (або сенсорної) сфери вимагає пошуку нових підходів до проектування спеціальних засобів (асистивних виробів), спрямованих на підтримку, компенсацію або відновлення порушених функцій дитини, що забезпечує підвищення її самостійності, безпеки та якості життя.

Означена проблема тривалий час вирішувалася через традиційний підхід до створення дитячого адаптивного взуття (ДАВ),

зосереджуючись виключно на біомеханічній корекції стопи, часто ігноруючи ергономіку взаємодії та психоемоційний стан дитини. Особливо для дітей із порушеннями опорно – рухового апарату (наприклад, дитячий церебральний параліч (ДЦП)) або ментальними розладами (наприклад, розлад аутистичного спектру (РАС)) взуття є не просто предметом гардероба, а критично важливим інструментом взаємодії із зовнішнім світом. Несприятливі ергономічні показники – складність маніпуляцій із системами фіксації, надмірна маса виробу та наявність

грубих внутрішніх швів – призводять до виникнення хронічного стресу, фрустрації та відчуття безпорадності.

Підтвердженням цього є низка нейропсихологічних та ергономічних закономірностей. Зокрема, згідно з теорією самодетермінації [1] блокування потреби в автономії через складність конструкції взуття формує в дитини стійку «вчену безпорадність» та знижує мотивацію до самообслуговування. Крім того, для осіб із сенсорною гіперчутливістю тактильне подразнення від внутрішніх швів сприймається нервовою системою як постійний больовий сигнал, що активує стресову реакцію мигдалеподібного тіла та призводить до когнітивного перевантаження [2, 14]. Біомеханічні дослідження підтверджують, що надмірна вага дистальних відділів взуття значно підвищує метаболічні витрати, викликаючи швидку фізичну втому, яка за принципом психосоматичного зв'язку трансформується в емоційне відторгнення рухової активності [3, 4]. Таким чином, ергономіка адаптивного взуття має розглядатись не лише як сукупність технічних параметрів, а як інструмент психоемоційної реабілітації та соціалізації дитини.

Питання ергономіки та проектування асистивних виробів для дітей є предметом вивчення багатьох вітчизняних та закордонних учених. Фундаментальні основи біомеханіки ходи, зокрема вплив швидкості на розподіл підошовного тиску та кутові рухи заднього відділу стопи, висвітлені у працях D. Rosenbaum [5]. Методологічна база для вивчення кінематичних девіацій нижніх кінцівок при патологіях опорно – рухового апарату закладена у роботах [6, 7], що дозволяє глибше зрозуміти механіку взаємодії стопи з опорною поверхнею.

Теоретичне підґрунтя для врахування психоемоційного фактора у дизайні представлено у класичних працях P. Jordan [8] та D. Norman [2], а концепція інклюзивності асистивних виробів – у дослідженнях G. Pullin [9]. Автор аргументує необхідність відходу від суто «медичного вигляду» виробів на користь

естетичної ергономіки, що сприяє соціальній інтеграції користувача.

Сучасна світова практика демонструє перехід від масового виробництва до концепції адаптивного дизайну, під яким розуміють проектування виробів, що враховують індивідуальні інклюзивні потреби та специфічну анатомію користувача. Такий підхід стає відповіддю на складні біомеханічні вимоги, які раніше ігнорувалися масовим виробництвом. Зокрема, у системному огляді M.W. Kindig підкреслено, що для правильного розвитку дитячої стопи параметри взуття повинні динамічно відповідати змінам ходи [3]. Важливий внесок у розуміння ергономіки природного руху зробили A.I. Cuesta-Vargas та колеги [4, 19], обґрунтувавши переваги «дбайливого» (respectful) взуття, що покращує пропріоцепцію (глибоку чутливість) за рахунок імітації ходьби босоніж.

В Україні розвиток цього напрямку пов'язаний із впровадженням цифрових технологій. У роботах Л. П. Чертенко та О. В. Каптюрової розглянуто методи персоналізації форми колодки на основі 3D-даних [10–12, 20]. Розробку методів забезпечення функціонально-ергономічної відповідності взуття для людей з інвалідністю та обґрунтування підходів до вибору раціональних конструкцій і матеріалів, які мінімізують тиск на стопу, що безпосередньо корелює із завданням зниження сенсорного навантаження на стопу, представлено у [13, 14]. Ці результати узгоджуються з висновками американської дослідниці A. Allen та колег щодо використання індивідуалізованих структур для стабілізації стопи [15].

Проте, незважаючи на значний доробок дослідників, питання системного зв'язку між конкретними ергономічними параметрами саме дитячого адаптивного взуття (ДАВ) (такими як конструктивна адаптивність вузлів взування або тип фіксації взуття на стопі) та психоемоційними показниками дитини (рівень автономії, сенсорний спокій) залишається недостатньо вивченим і потребує комплексного уточнення.

**Постановка завдання.** Формування науково обґрунтованих параметрів ДАВ вимагає перегляду пріоритетності традиційних підходів. Якщо класичні методики базуються на першочерговості біомеханічної корекції стопи, то сучасна парадигма асистивного дизайну вимагає розширення системи ергономічних показників. У цій системі технічні параметри конструкції (системи фіксації, властивості матеріалів, геометрія підошви) мають бути детерміновані не лише анатомо-функціональними особливостями, а й цільовими індикаторами психоемоційного благополуччя дитини.

Сучасний етап розвитку ергономіки характеризується зміною акцентів: від суто медичної корекції до створення антропоцентричного виробу, що забезпечує комплексну якість життя. Особливої гостроти це питання набуває у сегменті дитячого взуття, де фізична реабілітація має бути синергійно поєднана із психологічною адаптацією та підтримкою соціальної активності.

Метою дослідження є теоретичне обґрунтування та розробка комплексної методики формування ергономічних показників адаптивного взуття, що дозволяє інтегрувати медико-біологічні вимоги із психоемоційними потребами дитини в єдину цілісну систему. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

1. Виконати ієрархічну декомпозицію вимог до ДАВ, виокремивши базові фізіологічні показники та визначальні психоемоційні параметри.

2. Розробити структурно-логічну модель формування конструктивних рішень, яка забезпечує трансформацію ергономічних вимог у конкретні параметри функціональних вузлів виробу.

3. Запропонувати інструментарій апріорної верифікації у вигляді прогностичної матриці для оцінки проектних рішень на передпроектній стадії.

4. Обґрунтувати взаємозв'язок між технічними характеристиками виробу та прогнозованим психоемоційним відгуком користувача, забезпечуючи перехід до концепції взуття як «середовища реабілітації».

Виконання поставлених задач дозволить створити науково-методичну базу для створення адаптивного взуття нового покоління, де ергономіка стає ключовим фактором інклюзії та психологічного благополуччя.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Ергономічні показники (ЕП) дитячого адаптивного взуття – це комплексна система властивостей, що визначають рівень адаптивності конструкції до анатомо-фізіологічних особливостей дитини з метою забезпечення безпеки, фізичного комфорту та психоемоційної стабільності. Формування цієї системи базується на інтеграції медичних приписів, біомеханічних параметрів ходи та сучасного матеріалознавства [13, 18]. На основі проведеного аналізу було класифіковано ергономічні показники за чотирма ключовими групами: антропометричні, біомеханічні, гігієнічні та психофізіологічні.

*Антропометричні показники* (статична ергономіка). Антропометрична відповідність є первинною ланкою проектування, оскільки забезпечує когерентність внутрішньої форми взуття (колодки) просторовій конфігурації дитячої стопи. Враховуючи специфіку об'єкта дослідження (наявність хрящової тканини, незавершеність окостеніння та динаміку росту), встановлено, що традиційного підходу, орієнтованого на довжину стопи, недостатньо для асистивних виробів.

Для формування бази параметрів було виділено такі критичні антропометричні індикатори: обхват у пучках, що визначає необхідний внутрішній об'єм для запобігання компресії м'яких тканин; ширина та висота п'яtkового відділу – ключовий параметр для забезпечення медіолатеральної стабільності, що критично для дітей з вальгусними відхиленнями; висота прямого підйому – показник, що безпосередньо впливає на конструктивну адаптивність взування (зручність вкладання стопи у виріб). Як зазначено у працях [12, 13, 16], саме раціональне поєднання цих параметрів із властивостями матеріалів дозволяє мінімізувати локальний тиск на стопу, що є превентивним заходом проти

виникнення сенсорного дискомфорту. Процес перетворення цих медико-антропометричних вимог у конкретні параметри взуттєвої колодки реалізовано через запропоновану структурно-логічну модель, яка розглядається нижче.

*Біомеханічні показники* (динамічна ергономіка) характеризують взаємодію взуття зі стопою в динаміці, розглядаючи виріб як ланку кінематичного ланцюга «стопа–взуття–опора». Головною метою є оптимізація розподілу тиску та підтримка фізіологічно правильного патерну ходьби [3, 5, 21, 22]. Основним завданням є мінімізація точкових перевантажень, що запобігає больовим відчуттям та трофічним порушенням. Розрахунок тиску  $P$  на опорну поверхню проводиться за класичною залежністю:

$$P = F/S, \quad (1)$$

де  $F$  – сили реакції опори, а  $S$  – площа контакту. Адаптивне взуття має забезпечувати максимальне значення площі  $S$  через раціональну геометрію підошви для зниження пікового тиску  $P$ .

Враховуючи динамічний характер навантаження, конструкція має передбачати:

– функціональний припуск: 10–12 мм (враховує подовження стопи під час перекочування та динамічне зростання стопи, яке у дітей становить 10–15 мм на рік);

– демпфування ударних навантажень: використання матеріалів (EVA, PU) з високим коефіцієнтом поглинання енергії для захисту суглобів [15];

– гнучкість у зоні перекату: підошва повинна мати низький опір згинанню у зоні плеснофалангових суглобів (лінія, що проходить на відстані приблизно 60% довжини стопи від п'яти) [3];

– стабілізація заднього відділу: високий жорсткий берець (задник) функціонує як зовнішній обмежувач, що запобігає надмірній інверсії/еверсії п'яtkової кістки, утримуючи її в нейтральній позиції [4, 12].

*Гігієнічні показники.* Гігієнічні властивості є одним із ключових чинників ефективності ДАВ, оскільки безпосередньо впливають на стан шкірних покривів, терморегуляцію та функціонування м'язово-зв'язкового апарату стопи. В умовах

тривалого носіння, характерного для адаптивних моделей, порушення мікроклімату взуття може призводити до негативних медико-біологічних наслідків.

Недостатня повітропроникність і низька гігроскопічність матеріалів сприяють накопиченню вологи та підвищенню локальної температури, що створює сприятливі умови для мацерації шкіри, розвитку дерматологічних та грибкових уражень. У дітей з порушеннями опорно-рухового апарату такі ускладнення можуть викликати больові відчуття, зниження толерантності до навантаження та обмеження рухової активності.

Стопа містить велику кількість потових залоз і є важливим елементом загальної терморегуляції організму. Що важливо, дитяча стопа має недосконалу систему терморегуляції, тому питання тепловідведення є критичним. Використання матеріалів з високими гігієнічними показниками (паропроникність, гігроскопічність, гіпоалергенність, антибактеріальні властивості) забезпечує стабільний мікроклімат внутрішнього простору взуття. Це сприяє збереженню фізіологічного стану шкіри стопи та створює умови для адекватної м'язової роботи під час ходьби і особливо стосується матеріалів для деталей підкладки ДАВ.

Таким чином, внутрішні матеріали ДАВ повинні мати високу гігроскопічність (здатність вбирати вологу) та паропроникність (здатність «дихати»). Тому дуже важливо використовувати для деталей підкладки та вкладної устілки натуральну шкіру або сучасні мембранні матеріали [13], що забезпечують оптимальний мікроклімат (температуру і вологість) всередині взуття.

Окремим важливим параметром є маса виробу. Зайва вага взуття суттєво збільшує енерговитрати дитини під час ходьби. Згідно з дослідженнями, кожні додаткові 100 г ваги взуття пропорційно збільшують навантаження на м'язову систему та хребет. Для мінімізації загальної ваги ДАВ доцільно використовувати спінені полімери (EVA, PU) для виготовлення підошов [15, 20]. Таким чином, гігієнічні та масо – габаритні показники слід розглядати як функціонально значущі компоненти, що безпосередньо

впливають на формування правильного рухового стереотипу та успішність реабілітації.

*Психофізіологічні показники* (ПФП) в контексті адаптивного взуття часто є визначальними для успіху реабілітації. Вони визначають рівень суб'єктивного сприйняття, сенсорної інтеграції та психологічного комфорту [2, 8]. Для дітей із порушеннями опорно-рухового апарату, обтяженими розладами аутистичного спектру (РАС) або синдромом сенсорної інтеграції (СІ), критичним є фактор тактильної гіперчутливості. Найменший виступ внутрішнього шва чи складка матеріалу сприймаються як больовий сигнал, що призводить до низького комплаєнсу (відмови від носіння виробу). Саме тому мінімізація сенсорного подразнення через безшовні технології підкладки є не лише ергономічною, а й психокорекційною вимогою.

Окрім внутрішнього комфорту, ПФП визначають рівень соціальної адаптації через візуальні характеристики виробу. Принцип «нормалізованого дизайну» (inclusive design) передбачає відхід від громіздких «медичних» конструкцій на користь естетики повсякденного взуття [9, 14]. Це сприяє збереженню позитивної самооцінки та успішній інтеграції дитини в середовище однолітків [8, 9].

Методологія проектування ДАВ базується на системному процесі формування його ергономічних показників, який реалізується через три послідовні фази: аналітичну (генерація вхідних даних), синтезуючу (конструкторська інтеграція) та верифікаційну (контроль відповідності).

*Аналітична фаза* є фундаментом проектування, де здійснюється перехід від

усереднених стандартів до персоніфікованих параметрів. Ергономічна якість дитячого адаптивного взуття у цьому контексті визначається ступенем відповідності конструкції анатомо-функціональним та психоемоційним особливостям дитини [16, 17]. Джерелом отримання об'єктивних даних слугують сучасні інструментальні методи:

– *3D-сканування стопи та гомілки* дозволяє отримати точні метричні дані (висота підйому, форма склепіння, асиметрія), що значно перевищує інформативність традиційної плантарографії [9, 11]. На цій основі розраховуються *коефіцієнти адаптації (КА)*, наприклад, за повнотою:

$$КА_{повнота} = L_{факт} / L_{станд}, \quad (2)$$

де  $L_{факт}$  – фактичний обхват у пучках стопи з патологією або ортезом,  $L_{станд}$  – нормативне значення для відповідного розміру.

– *динамічна педобарографія* аналізує траєкторію центру тиску, що дозволяє виявити медіальні або латеральні зміщення при перекочуванні стопи, характерні для ДЦП [3, 5].

– *аналіз пікових ударних навантажень*. При використанні вказаного методу вимірювання максимальної сили реакції опори ( $F_{max}$ ) у фазі контакту п'яти з опорною поверхнею. Це визначає вимоги до модуля пружності матеріалу підошви ( $E$ ) для забезпечення демпфування та стабілізації гомілковостопного суглоба (допустимий кут інверсії/еверсії ( $\leq 5^\circ$ )) [15].

Окрім біомеханічних параметрів, аналітична фаза включає оцінку нефізичних (психофізіологічних) вимог, які систематизовано у таблиці 1.

Таблиця 1

Система цільових ергономічних показників дитячого адаптивного взуття

Критерій	Ціль аналізу	Кількісний показник (ЕП)
Сенсорна ергономіка	Мінімізація подразників	ЕП тактильного комфорту: толерантність до швів і текстури матеріалів. Вимога: нульова кількість швів у зоні контакту з чутливими ділянками.
Психомоторне напруження	Легкість одягання/знімання	ЕП зручності маніпуляцій: час одягання (наприклад, $\leq 10$ секунд з ортезом); зусилля для застібання ( $F_{заст} \leq 15$ Н).
Гігієнічність	Підтримка мікроклімату	ЕП паропроникності: коефіцієнт паропроникності матеріалів верху ( $\geq 5$ мг/(см <sup>2</sup> / год)).

Синтезуюча фаза (конструкторська інтеграція) розробки ДАВ розглядається як етап практичної трансформації вхідних аналітичних даних у єдину конструктивно-технологічну схему виробу. Головним завданням цього етапу є досягнення синергії між терапевтичною функцією, ергономічною безпекою та споживчою привабливістю моделі [16, 17]. Практична реалізація синтезуючої фази у проектуванні ДАВ здійснюється шляхом послідовного проходження трьох ключових етапів: механізму конструкторської інтеграції, естетико-функціональної конвергенції, алгоритму синтезу показників у конструкції.

*Механізм конструкторської інтеграції* базується на методі декомпозиції загальної мети на окремі функціональні вузли. Кожен вузол відповідає за реалізацію конкретного ергономічного показника. Зокрема, статико-динамічна інтеграція реалізується через оптимізацію параметрів внутрішньої форми взуття з урахуванням індивідуальних коефіцієнтів адаптації (КА). Синтезуючим елементом у цьому контексті виступає раціональна геометрія перекаату підошви та диференційована жорсткість устілкового вузла, що в сукупності забезпечує корекцію кінематики ходи дитини.

Важливим складником є сенсорно-технологічний синтез, спрямований на мінімізацію тактильних подразників. Впровадження безшовних технологій з'єднання деталей підкладки та використання м'яких кантів задовольняє вимогу «сенсорного спокою», що є критичним для пацієнтів із розладами сенсорної інтеграції [8]. Паралельно реалізується вузловий синтез адаптивних елементів, де ключовим аспектом є впровадження систем фіксації, що забезпечують автономію дитини. Конструкторські рішення включають механізми розширеного доступу, такі як технологія заднього розкриття п'яткової частини («step-in») та адаптивні системи закриття (магнітні фіксатори або дискові системи ВОА), які скорочують час маніпуляцій до  $\leq 10$  с.

*Естетико-функціональна конвергенція* на цій фазі забезпечує візуальну корекцію медичної спрямованості виробу. Завдяки прийомам нівелювання масивності через

лінійний ритм деталей верху та кольорове розчленування силуету, досягається ефект соціальної інклюзії. Взуття сприймається як сучасний елемент дитячої моди, що повністю відповідає концепції «нормалізованого дизайну» [9, 23, 24].

Завершальним етапом синтезу є *послідовна ітерація показників*, яка включає:

- матеріальне втілення (добір пакету матеріалів, наприклад, натуральної шкіри у поєднанні з 3D-сітками для забезпечення паропроникності);

- композиційний синтез (формування вигляду навколо жорстких ортопедичних вузлів);

- ергономічну верифікацію (оцінка відповідності моделі цільовим параметрам зручності та психоемоційного комфорту).

За результатами проведених досліджень розроблено структурно-логічну модель формування психоемоційних показників адаптивного дитячого взуття (рис. 1), яка відображає цільові орієнтири ергономічного проектування та інтегрує функціональні, естетичні й соціально-психологічні аспекти. Представлена модель демонструє, що процес формування конструкції адаптивного взуття спрямований не лише на забезпечення фізіологічної підтримки та корекції функцій стопи, а й на створення умов для повноцінної соціальної адаптації дитини та реалізації її індивідуальності. У межах моделі ключовими психоемоційними показниками визначено можливість самостійного вибору дитиною моделі взуття та наявність персоналізованих дизайнерських елементів (колірні рішення, декоративні акценти, змінні компоненти). Зазначені чинники безпосередньо впливають на формування впевненості дитини у власному зовнішньому вигляді, позитивну самооцінку та сприяють доброзичливому сприйняттю з боку однолітків, що є важливою передумовою успішної інклюзії в освітньому й ігровому середовищах.

Класифікація фізіологічних та ергономічних вимог до конструкції дитячого адаптивного взуття дозволяє систематизувати базові параметри, що слугують основою для проектування виробів корекційного призначення. На відміну від традиційного підходу, ми

розглядаємо вимоги до взуття як пряму відповідь на специфічні анатомо-фізіологічні особливості дитячої стопи (табл. 2).

У результаті систематизації встановлено, що ключовими факторами ефективності є не

лише біомеханічна підтримка, а й адаптивність об'єму та амортизаційна безпека, що в сукупності забезпечують високу толерантність дитини до процесу реабілітації.

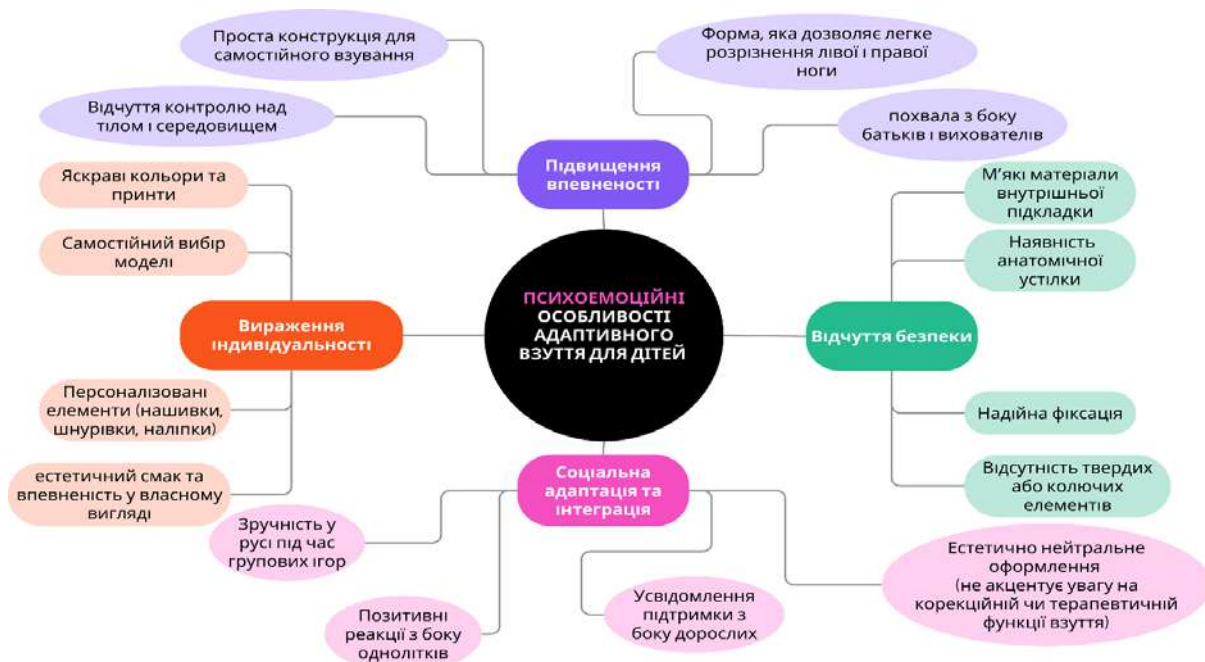


Рис. 1. Структурно-логічна модель формування психоемоційних показників адаптивного дитячого взуття

Таблиця 2

**Матриця відповідності фізіологічних особливостей стопи та ергономічних вимог до конструкції дитячого адаптивного взуття**

Фізіологічне обґрунтування (особливості стопи)	Ергономічна вимога до конструкції	Технічне рішення (реалізація)
Незавершене окостеніння та активний ріст	Забезпечення вільного простору для розвитку	Функціональний припуск (10–12 мм), широка носкова частина.
Гнучкість зв'язкового апарату	Стабілізація та профілактика деформацій	Високий жорсткий берець (задник) для нейтральної позиції п'яти.
Специфіка терморегуляції (високе потовиділення)	Підтримка гігієнічного мікроклімату	Натуральна шкіра або мембрани ( $\geq 5 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{c} \cdot \text{год}$ ).
Чутливість до динамічних навантажень	Амортизація та зниження реакції опори	Підшва зі спінених полімерів (EVA/PU) з демпфуючими зонами.
Необхідність використання ортезів	Регулювання внутрішнього об'єму	Адаптивні системи фіксації (Velcro, BOA, магнітні застібки).

Сукупність зазначених вимог формує науково-методичний фундамент для проектування дитячого адаптивного взуття нового покоління, де кожне конструктивне рішення є детермінованим як медичними показниками, так і потребами дитини в комфорті та соціальній активності.

Синтез психоемоційних та фізіологічних особливостей у конструктивних параметрах дитячого адаптивного взуття базується на

принципі, що фізичний комфорт є фундаментом для психологічного благополуччя, а естетична привабливість конструкції безпосередньо впливає на соціалізацію дитини [9, 23, 24]. Переплетення сфер при формуванні ергономічних показників наступна:

1. *Фізична автономія та впевненість у собі.* Фізіологічна потреба дитини у зручності маніпуляцій реалізується через розширене розкриття берців та адаптивні застібки.

– *фізіологічний ефект*. Зниження навантаження на дрібну моторику;

– *психоемоційний результат*. Перехід дитини від об'єкта сторонньої допомоги до активного суб'єкта діяльності [8].

2. *Стабілізація стопи та відчуття безпеки*. Використання жорстких задників та «анатомічної підошви» забезпечує стійкість під час руху.

– *фізіологічний ефект*. Корекція кінематики ходи;

– *психоемоційний результат*. Зниження рівня тривожності під час групових ігор завдяки «надійній фіксації», що полегшує соціальний контакт.

3. *Гігієнічні властивості як запобіжник стресу*. Показники вентиляції та гігроскопічності матеріалів підкладки запобігають сенсорному перевантаженню.

– *фізіологічний ефект*. Підтримка оптимального мікроклімату.

– *психоемоційний результат*. Відсутність тактильного подразнення виключає негативні емоційні стани, особливо у дітей з підвищеною сенсорною чутливістю.

4. *Дизайн як інструмент інклюзії*. Поєднання терапевтичної функції з візуальною нормалізацією («нормалізований дизайн»).

– *психоемоційний результат*. Можливість самовираження через колір та стиль забезпечує позитивні реакції однолітків, що є вершиною соціальної адаптації [9, 23, 24].

*Верифікаційна фаза* у процесі розробки конструкції дитячого адаптивного взуття розглядається як етап експертно-аналітичного контролю відповідності запропонованих рішень визначеним ергономічним вимогам. У межах дослідження реалізовано апріорну верифікацію, яка базується на методах теоретичного моделювання та прогностичного аналізу. Це дозволило встановити концептуальну відповідність проекту інклюзивним вимогам на етапі проектування без передчасних витрат на виготовлення дослідних зразків [12].

На відміну від стандартних випробувань готових виробів, верифікація на етапі проектування передбачає перевірку «життєздатності» ідеї через аналіз відповідності внутрішнього об'єму взуття параметрам стопи з урахуванням компенсації деформацій,

оцінку працездатності механічних вузлів (застібки, елементів розкриття), залучення профільних фахівців (ортопедів та психологів) для оцінки потенційного психоемоційного відгуку дитини [8, 9, 23, 24].

Ключовим аспектом верифікації є встановлення зв'язку між фізичною структурою взуття та очікуваною реакцією організму. На основі розрахунків встановлено, що перехід до безшовних технологій підкладки виключає зони пікового тиску, що веде до стабілізації психофізіологічного стану дитини через усунення тактильного дискомфорту.

Для підтвердження ефективності синтезованих показників апробовано метод апріорної верифікації через використання прогностичної матриці (табл. 3).

Таким чином, верифікаційна фаза довела спроможність методу апріорного моделювання як інструменту прогнозування експлуатаційної ефективності ДАВ, яке здатне виконувати не лише стабілізуючу, а й стимулюючу функцію, сприяючи активній соціалізації дитини.

**Висновки.** У ході дослідження, присвяченого визначенню та формуванню ергономічних показників у конструкціях ДАВ, було отримано такі результати:

1. Обґрунтовано комплексну методологію ДАВ, яка базується на трифазній моделі (Аналіз – Синтез – Верифікація). Це дозволило інтегрувати антропометричні та біомеханічні чинники з психоемоційними показниками, визначивши останні як критично значущі для ефективної реабілітації та соціалізації дитини.

2. Класифіковано ключові ергономічні індикатори якості, серед яких пріоритетне значення надано: параметрам конструктивної адаптивності (забезпечення автономії взування через системи легкого доступу «Easy Entry»); біомеханічній стабілізації (підтримка фаз перекаату стопи); та сенсорній безпеці внутрішнього простору (мінімізація тактильного подразнення через безшовні технології).

3. Доведено пряму кореляцію між ергономічною досконалістю конструкції та психоемоційним станом дитини. Через впровадження прогностичної матриці

встановлено, що мінімізація фізичного дискомфорту та можливість самообслуговування безпосередньо сприяють зниженню

рівня тривожності та підвищенню самооцінки дітей із порушеннями опорно-рухового апарату.

Таблиця 3

**Прогностична матриця взаємозв'язку конструктивних параметрів дитячого адаптивного взуття з очікуваними індикаторами якості життя дитини**

Конструктивний параметр	Прогноз фізіологічних змін	Очікуваний індикатор якості життя
Система повного розкриття (Easy Entry)	Мінімальне зусилля при вкладанні стопи, відсутність тертя у п'ятковій частині.	Рівень автономності: дитина здатна самостійно взуватися, що зміцнює почуття незалежності.
Магнітні застібки / фіксатори	Надійна фіксація стопи без залучення дрібної моторики рук.	Психологічний комфорт: зникнення стресу через невдалі спроби зашнуровування; зростання самооцінки.
Візуальне маскування орто – вузлів (Street-style)	Збереження лікувальних функцій при сучасному зовнішньому вигляді.	Соціальна інклюзія: відсутність візуальної стигми; дитина відчувається рівною серед однолітків.
Безшовна підкладка	Рівномірний розподіл тиску, відсутність ризику мікротравм шкіри.	Емоційна стабільність: мінімізація сенсорного шуму, що знижує дратівливість протягом дня.
Підощва з рокер-ефектом	Оптимізація біомеханічного циклу кроку, енергозбереження при ходьбі.	Фізична активність: підвищення витривалості та мотивації до тривалих ігор.

4. Запропоновано інструментарій апріорної верифікації проєкту, що базується на використанні коефіцієнтів адаптації (КА). Це забезпечує трансформацію патологічних відхилень у конкретні технічні параметри внутрішнього об'єму взуття, реалізуючи перехід від типових методів проєктування до персоналізованих інклюзивних рішень.

Практична значущість роботи полягає у створенні науково-методичної бази для

проєктування ДАВ, яке виступає не лише ортопедичним виробом, а й інструментом психологічної реабілітації. Перспективи подальших досліджень пов'язані з автоматизацією розрахунків КА через впровадження адитивних технологій та 3D-моделювання для досягнення максимальної антропометричної відповідності.

#### Література

- Ryan R. M., Deci E. L. Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*. 2000. Vol. 55, No. (1). P. 68–78. DOI: <https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68>.
- Norman D. A. *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things*. New York: Basic Books, 2004. 257 p.
- Kindig M. W. et al. Understanding the Role of Children's Footwear on Children's Feet and Gait Development; A Systematic Scoping Review. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2023. Vol. 16, No. 1. P. 32.
- Cuesta-Vargas A. I. et al. Respectful Children's Shoes: A Systematic Review. *Children*. 2024. Vol. 11, No. 2. P. 215. DOI: <https://doi.org/10.3390/children11020215>.
- Rosenbaum D., Hautmann S., Gold M., Claes L. Effects of walking speed on plantar pressure patterns and hindfoot angular motion. *Gait & Posture*. 1994. Vol. 2, No. 3. P. 191–197. DOI: [https://doi.org/10.1016/0966-6362\(94\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0966-6362(94)90024-8).
- Allison K., Hall M., Wrigley T. V., Pua Y.-H., Metcalf B., Bennell K. L. Sex-specific walking kinematics

#### References

- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well – being. *American Psychologist*, 55(1), 68–78, <https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68>.
- Norman, D. A. (2004). *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things*. New York: Basic Books. 257 p.
- Kindig, M. W. et al. (2023). Understanding the Role of Children's Footwear on Children's Feet and Gait Development: A Systematic Scoping Review. *Journal of Foot and Ankle Research*, 16(1), 32.
- Cuesta-Vargas, A. I. et al. (2024). Respectful Children's Shoes: A Systematic Review. *Children*, 11(2), 215, <https://doi.org/10.3390/children11020215>.
- Rosenbaum, D., Hautmann, S., Gold, M., & Claes, L. (1994). Effects of walking speed on plantar pressure patterns and hindfoot angular motion. *Gait & Posture*, 2(3), 191–197, [https://doi.org/10.1016/0966-6362\(94\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0966-6362(94)90024-8).
- Allison, K. et al. (2018). Sex – specific walking kinematics and kinetics in individuals with unilateral,

and kinetics in individuals with unilateral, symptomatic hip osteoarthritis. *Gait & Posture*. 2018. Vol. 65. P. 234–239. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.07.179>.

7. Allison K., Hall M., Hodges P. W., Wrigley T. V., Vicenzino B., Pua Y.-H., Metcalf B., Grimaldi A., Bennell K. L. Gluteal tendinopathy and hip osteoarthritis: Different pathologies, different hip biomechanics. *Gait & Posture*. 2018. Vol. 61. P. 459–465. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.02.011>.

8. Jordan P. W. *Designing Pleasurable Products: An Introduction to the New Human Factors*. London: Taylor & Francis, 2000. 272 p.

9. Pullin G. *Design Meets Disability*. Cambridge, MA: MIT Press, 2009. 256 p. ISBN 978-0-262-16251-7.

10. Чертенко Л. П., Каптюрова О. В. Improving the footwear ergonomics by personalizing its shape. *Advanced Materials and Systems: Proceedings of the 9th International Conference (ICAMS 2022)*. Bucharest, 2022. P. 345–350.

11. Каптюрова Д. О., Чертенко Л. П., Липський Т. М. Перспективи впровадження інноваційних технологій у виробництво ортопедичного взуття в Україні. *Інноватика в освіті, науці та бізнесі: виклики та можливості: матеріали V Всеукраїнської конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених*, м. Київ, 15 листопада 2024 року. Т. 1. Київ: КНУТД, 2024. С. 277–285.

12. Чертенко Л., Кернеш В., Кузіна Н. Індивідуалізація ортопедичного взуття: Ключові фактори при проектуванні. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2024. Vol. 339, № 4. С. 491–496.

13. Mykhailovska O., Lobanova H., Soltyk I., Nadopta T. Development of comfortable shoes for people with disabilities. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2022. Vol. 311, № 4. С. 168–175. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-311-4-168-175>.

14. Михайловська О., Надопта Т. Показники якості для спеціального взуття військового призначення. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2023. Vol. 321, № 3. P. 348–354. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-321-3-348-354>.

15. Allen A. et al. Walking with individualized 3D-printed minimal footwear increases foot strength and produces subtle changes in unroll pattern. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1270253>.

16. Михайловська О. А. Характеристика показників якості спеціального дитячого взуття для занять спортивними бальними танцями. *Вісник Хмельницького національного*

symptomatic hip osteoarthritis. *Gait & Posture*, 65, 234–239, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.07.179>.

7. Allison, K., Hall, M., Hodges, P. W., Wrigley, T. V., Vicenzino, B., Pua, Y.-H., Metcalf, B., Grimaldi, A., & Bennell, K. L. (2018). Gluteal tendinopathy and hip osteoarthritis: Different pathologies, different hip biomechanics. *Gait & Posture*, 61, 459–465, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.02.011>.

8. Jordan, P. W. (2000). *Designing Pleasurable Products: An Introduction to the New Human Factors*. London: Taylor & Francis. 272 p.

9. Pullin, G. (2009). *Design Meets Disability*. Cambridge, MA: MIT Press. 256 p. ISBN 978-0-262-16251-7.

10. Chertenko, L. P., & Kaptiurova, O. V. (2022). Improving the footwear ergonomics by personalizing its shape. *Advanced Materials and Systems: Proceedings of the 9th International Conference (ICAMS 2022)* (pp. 345–350). Bucharest.

11. Kaptiurova, D. O., Chertenko, L. P., & Lypskyi, T. M. (2024). Perspektyvy vprovadzhennia innovatsiinykh tekhnolohii u vyrobnytstvo ortopedychnoho vzuttia v Ukraini [Prospects for the introduction of innovative technologies in the production of orthopedic footwear in Ukraine]. *Innovatyka v osviti, nauksi ta biznesi: vyklyky ta mozhlyvosti: materialy V Vseukrainskoi konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh*, m. Kyiv, 15 lystopada 2024 roku. Vol. 1 (pp. 277–285). Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].

12. Chertenko, L., Kernesh, V., & Kuzina, N. (2024). Indyvidualizatsiia ortopedychnoho vzuttia: Kliuchovi faktory pry proiektuvanni [Customizing Orthopedic Footwear: Key Design Factors]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 339(4), 491–496 [in Ukrainian].

13. Mykhailovska, O., Lobanova, H., Soltyk, I., & Nadopta, T. (2022). Development of comfortable shoes for people with disabilities. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 311(4), 168–175, <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-311-4-168-175>.

14. Mykhailovska, O., & Nadopta, T. (2023). Pokaznyky yakosti dlia spetsialnoho vzuttia viiskovoho pryznachennia [Quality indicators for special military footwear]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 321(3), 348–354, <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-321-3-348-354> [in Ukrainian].

15. Allen, A. et al. (2023). Walking with individualized 3D-printed minimal footwear increases foot strength and produces subtle changes in unroll pattern. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2023, <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1270253>.

16. Mykhailovska, O. A. (2008). Kharakterystyka pokaznykiv yakosti spetsialnoho dytiachoho vzuttia dlia zaniat sportyvnyumu balnymy tantsiamy [Characteristics of quality indicators of special children's shoes for ballroom dancing]. *Visnyk*

університету. 2008. № 4(36). С. 137–139.

17. Лобанова Г. Є., Цимбалюк В. М., Пухальська Ю. В. Дослідження впливу конструкторсько-технологічних особливостей взуття на психологічну оцінку його комфортності. *Вісник ХНУ*. 2012. № 3. С. 249–254.

18. Олійникова В. В., Бабиш А. І., Луканюк Я. С., Марущенко О. В. Вимоги до матеріалів верху, низу, конструкції та технології виготовлення спеціального взуття. *Легка промисловість*. 2010. № 3. С. 14–15.

19. Roldán-Jiménez C., Cuesta-Vargas A. I., Martín-Martín J. Three-dimensional kinematics during shoulder scaption in asymptomatic and symptomatic subjects by inertial sensors. *Sensors*. 2022. Vol. 22, № 8. Article 3081. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22083081>.

20. Uhlrich S. D. et al. Walking with individualized 3D-printed minimal footwear increases foot strength and produces subtle changes in unroll pattern. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2023. Vol. 11. Art. 114522.

21. Cranage S., Perraton L., Bowles K.-A., Williams C. A comparison of young children's spatiotemporal measures of walking and running in three common types of footwear compared to bare feet. *Gait Posture*. 2020. Vol. 81. P. 218–224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.07.147>.

22. Cranage S., Perraton L., Bowles K.-A., Williams C. A comparison of young children's spatiotemporal gait measures in three common types of footwear with different sole hardness. *Gait Posture*. 2021. Vol. 90. P. 276–282. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.09.165>.

23. Фоміна С., Корнійчук І., Долішня А. Аналіз спеціального взуття для дітей з особливими потребами та його дизайну в контексті призначення. Тези доп. VII Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми сучасного дизайну» (КНУТД, Київ, 4 квітня 2025 р.). Київ: КНУТД, 2025. С. 409–412.

24. Фоміна С. В., Надопта Т. А. Основні антропометричні показники стоп дітей та їх врахування при розробці взуття. Тези доп. VIII Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн технологій (КНУТД, Київ, 17 жовтня 2024 р.). Київ: КНУТД, 2024. С. 208–211.

*Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, 4(36), 137–139 [in Ukrainian].

17. Lobanova, H. Ye., Tsybaliuk, V. M., & Pukhalska, Yu. V. (2012). Doslidzhennia vplyvu konstruktorsko – tekhnolohichnykh osoblyvostei vzuttia na psykholohichnu otsinku yoho komfortnosti // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*. 2012. № 3. S. 249–254 [in Ukrainian].

18. Oliinykova, V. V., Babysh, A. I., Lukaniuk, Ya. S., & Marushchenko, O. V. (2010). Vymohy do materialiv verkhу, nyzu, konstrukttsii ta tekhnolohii vyhotovlennia spetsialnoho vzuttia [Requirements for upper and lower materials, design and manufacturing technology of special footwear]. *Lehka promyslovisht*, 3, 14–15 [in Ukrainian].

19. Roldán-Jiménez, C., Cuesta-Vargas, A. I., & Martín-Martín, J. (2022). Three-dimensional kinematics during shoulder scaption in asymptomatic and symptomatic subjects by inertial sensors. *Sensors*, 22(8), 3081, <https://doi.org/10.3390/s22083081>.

20. Uhlrich, S. D. et al. (2023). Walking with individualized 3D-printed minimal footwear increases foot strength and produces subtle changes in unroll pattern. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 114522.

21. Cranage, S., Perraton, L., Bowles, K.-A., & Williams, C. (2020). A comparison of young children's spatiotemporal measures of walking and running in three common types of footwear compared to bare feet. *Gait Posture*, 81, 218–224, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.07.147>.

22. Cranage, S., Perraton, L., Bowles, K.-A., & Williams, C. (2021). A comparison of young children's spatiotemporal gait measures in three common types of footwear with different sole hardness. *Gait Posture*, 90, 276–282, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.09.165>.

23. Fomina, S., Korniiichuk, I., & Dolishnia, A. (2025). Analiz spetsialnoho vzuttia dlia ditei z osoblyvymy potrebamy ta yoho dyzainu v konteksti pryznachennia [Analysis of special footwear for children with special needs and its design in the context of its intended purpose]. *Tezy dop. VII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia "Aktualni problemy suchasnoho dyzainu"* (KNUTD, Kyiv, April 4, 2025). (pp. 409–412). Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].

24. Fomina, S. V., & Nadopta, T. A. (2024). Osnovni antropometrychni pokaznyky stop ditei ta yikh vrakhuvannia pry rozrobsi vzuttia [Basic anthropometric indicators of children's feet and their consideration when developing footwear]. *Tezy dop. VIII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia tekstylnykh ta feshn tekhnolohii* (KNUTD, Kyiv, October 17, 2024.) (pp. 208–211). Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].

**ДЕВОГУЦ ДЕНИС**

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

e-mail: [devohuts.dv@knutd.edu.ua](mailto:devohuts.dv@knutd.edu.ua)<https://orcid.org/0009-0004-2944-450X>**ГАЛАВСЬКА ЛЮДМИЛА**

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

e-mail: [galavska.ly@knutd.edu.ua](mailto:galavska.ly@knutd.edu.ua)<https://orcid.org/0000-0002-6994-6641>**ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИЙ ПІДХІД ДО МЕХАНІЧНОГО  
ОПОРЯДЖЕННЯ ВОРСОВОГО ТРИКОТАЖНОГО  
МАТЕРІАЛУ ТИПУ «POLAR FLEECE»**

**Мета.** Обґрунтування та розробка енергоефективного технологічного циклу механічного опорядження ворсового трикотажу типу «Polar fleese», який забезпечує виконання нормативних вимог технічних специфікацій Міністерства Оборони України (ТС МОУ) за показниками товщини та повітропроникності без залучення спеціалізованих розчісувальних машин.

**Методи.** У роботі використано комплексний підхід, що включає експериментальні дослідження впливу параметрів 6-етапного диференційованого ворсування на двобарабанному обладнанні на текстуру поверхні полотна. Лабораторні випробування фізико-механічних показників проведено згідно з ДСТУ ISO 5084:2004, ДСТУ ISO 9237:2003 та ДСТУ ISO 12945-2:2005. Теоретичний аналіз теплофізичних властивостей базувався на моделях теплового опору згідно з ISO 11092.

**Результати.** Встановлено, що класична схема опорядження «Raising – Combing», яка використовується в імпортних аналогах, призводить до надмірної структурної консолідації ворсу, що спричиняє редуцію повітропроникності нижче  $600 \text{ дм}^3/(\text{м}^2\text{с})$  та зменшення товщини. Доведено, що застосування запропонованого 6-етапного циклу «ворсування – валяння – імітаційне чесання» на універсальних ворсувальних машинах дозволяє досягти нормативної товщини 5,0 мм та повітропроникності понад  $600 \text{ дм}^3/(\text{м}^2\text{с})$ .

**Наукова новизна.** Вперше обґрунтовано можливість імітації процесу антипілінгового розчісування на універсальному ворсувальному обладнанні шляхом прецизійного керування швидкісними режимами роликів «ворс – противорс» на фінальному етапі опорядження, що забезпечує збереження капілярно-пористої структури матеріалу (Loft-ефекту).

**Практичне значення.** Розроблено та впроваджено у промислове виробництво технологічний цикл опорядження ворсового трикотажу «Polar fleese», який забезпечує високі теплофізичні характеристики порівняно з іноземними аналогами без додаткових капітальних інвестицій у спеціалізоване обладнання.

**Ключові слова:** ворсовий трикотаж; фліс; механічне опорядження; повітропроникність; товщина ворсового трикотажу; пілінгостійкість.

# A DIFFERENTIATED APPROACH TO THE MECHANICAL FINISHING OF "POLAR FLEECE" TYPE PILE KNITTED FABRIC

DEVOHUTS DENYS, HALAVSKA LIUDMYLA  
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**Purpose.** Justification and development of an energy-efficient technological cycle for the mechanical finishing of "Polar fleece" pile knitted fabric, which ensures compliance with the regulatory requirements of the technical specifications of the Ministry of Defense of Ukraine (TS MODU) in terms of thickness and air permeability without the use of specialized combing machines.

**Methodology.** The study employs a comprehensive approach that includes experimental research on the influence of the parameters of a 6-stage differentiated raising on the fabric's surface texture using double-drum equipment. Laboratory tests of physical and mechanical indicators were conducted in accordance with DSTU ISO 5084:2004, DSTU ISO 9237:2003, and DSTU ISO 12945-2:2005. The theoretical analysis of thermophysical properties is based on thermal resistance models, as specified in ISO 11092.

**Results:** It was established that the classical "Raising – Combing" finishing scheme used in imported analogs results in excessive structural consolidation of the pile, reducing air permeability below  $600 \text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$  and decreasing thickness. It was proven that the application of the proposed 6-stage cycle "raising – felting – imitative combing" on universal raising machines enables achieving a normative thickness of 5.0 mm and an air permeability exceeding  $600 \text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$ .

**Scientific novelty:** For the first time, the possibility of imitating the anti-pilling combing process on universal raising equipment was substantiated through the precision control of the speed modes of the "pile and counter-pile" rollers at the final finishing stage, which ensures the preservation of the material's capillary-porous structure (Loft effect).

**Practical significance:** A technological cycle for finishing "Polar fleece" pile knitted fabric was developed and implemented, providing high thermophysical characteristics compared to foreign analogs without additional capital investments in specialized equipment.

**Keywords:** pile knitted fabric; fleece; mechanical finishing; air permeability; the thickness of the pile knit fabric; pilling resistance.

**Вступ.** Створення сучасного функціонального текстилю для експлуатації в умовах низьких температур вимагає комплексного підходу до проектування його структури. Текстильні матеріали типу «Polar fleece» займають особливе місце у цій категорії завдяки здатності забезпечувати високу теплоізоляцію при мінімальній вазі. Сфера їхнього застосування охоплює професійний спортивний одяг, екіпування для екстремального туризму, а також спеціальні вироби, що регламентуються жорсткими галузевими нормами. Наразі одним з таких документів є технічна специфікація Міністерства оборони України [ТС МОУ А01XJ.30655-291:2020 (01)]. Основним чинником, що забезпечує теплозахисні властивості таких матеріалів, є здатність ворсового шару утримувати значний об'єм нерухомого повітря. Проте функціональність матеріалу в умовах активного

руху (метаболічного теплоутворення) визначається не лише теплоізоляцією, а й здатністю до ефективного паровідведення. Останнє реалізується через механізм повітропроникності, що дозволяє уникнути конденсації вологи всередині пакета одягу та наступного переохолодження організму. Таким чином, постає складне завдання досягнення балансу між геометричними (товщина  $> 5,0 \text{ мм}$ ) та дифузійними (повітропроникність  $> 600 \text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$ ) характеристиками.

**Аналіз попередніх досліджень.** Аналіз сучасних наукових праць свідчить, що теплозахисні властивості текстильних матеріалів визначаються передусім здатністю їх пористої структури утримувати нерухоме повітря, яке виступає основним теплоізоляційним середовищем. Зокрема, у дослідженнях високопористих («high-loft») матеріалів встановлено, що збільшення пористості та об'ємності структури

забезпечує підвищення термічного опору за рахунок формування значної кількості повітряних прошарків. Водночас доведено, що експлуатаційні фактори, зокрема стискання матеріалу, можуть суттєво знижувати ефективність теплоізоляції через зменшення об'єму захопленого повітря та порушення структури волокнистого шару [1].

Разом з тим, низка досліджень акцентує увагу на тому, що термофізіологічний комфорт визначається не лише статичними теплоізоляційними характеристиками, а й процесами тепломасообміну, які відбуваються в умовах реальної експлуатації одягу [2]. Зокрема, встановлено, що повітропроникність і проникність структури матеріалу безпосередньо впливають на інтенсивність конвективного теплообміну та видалення водяної пари, що утворюється внаслідок потовиділення. При цьому надмірна проникність може призводити до зниження теплозахисних властивостей через інтенсифікацію конвекції, особливо за умов впливу зовнішніх повітряних потоків [3-5].

Дослідження структурних параметрів текстильних матеріалів підтверджують існування зворотної залежності між товщиною, масою та щільністю матеріалу і його повітропроникністю: зі збільшенням товщини та щільності спостерігається зниження повітропроникності при одночасному зростанні теплового опору [6]. Це зумовлює необхідність оптимізації структурних параметрів матеріалу залежно від умов експлуатації [7].

Окремі наукові підходи розглядають текстиль як багатошарову систему, у якій процеси теплопередачі реалізуються через поєднання теплопровідності, конвекції та випромінювання, а ефективність теплозахисту визначається взаємодією між шарами та їх повітропроникністю [8]. Встановлено, що у динамічних умовах експлуатації (рух, вітер) роль повітропроникності суттєво зростає, оскільки вона визначає інтенсивність повітрообміну та стабільність мікроклімату у підодяговому просторі [5, 9].

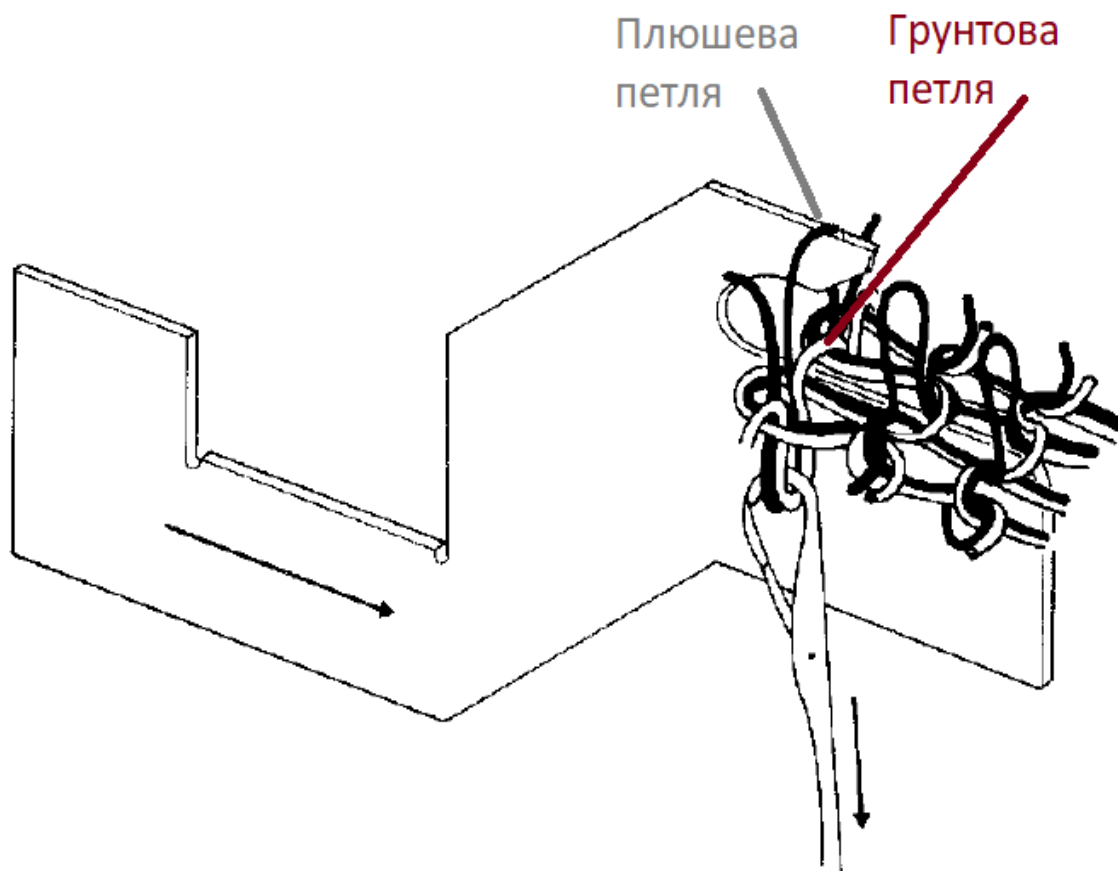
Аналіз наукової літератури свідчить про глибоке вивчення окремих аспектів проєктування ворсових полотен, проте виявляє низку невирішених протиріч.

Фундаментальні основи формування плюшевого трикотажу (sinker pile), що є базою для трикотажного матеріалу типу «Polar fleese», закладені у працях Spencer D.J., де обґрунтовано вибір класів обладнання для створення стабільної петельної структури [10]. Роль геометричних параметрів в'язання у забезпеченні стійкості ворсу досліджували Kaikobad M. та Islam M. S., встановивши пряму залежність між щільністю заповнення полотна та його механічною тривкістю [11]. У контексті термофізіології, Schacher L. та Gunesoglu S. довели, що тепловий опір ворсових матеріалів є функцією їхньої товщини: чим більший об'єм повітряних пасток сформовано у ворсі, тим вищі ізоляційні показники матеріалу [8, 12]. Разом із тим, Waszek M. та Gruszka I. Наголошують, що для матеріалів, призначених для активних дій у холоді, паровідведення через повітряні канали є критичним фактором, який запобігає «ефекту змочування» ворсу [13]. Проте, найважливішим науковим бар'єром є виявлене Özkan I. та Karplangiray V. явище насичення: при досягненні певних значень товщини через механічне начісування, подальше зростання ворсового шару супроводжується стрімким падінням повітропроникності [14]. Це підтверджується у роботі Onofrei E. [7], в якій описано механізм «оклюзії мікропор», за якого вільні філаменти нитки перекривають капілярні канали, блокуючи масообмін. Незважаючи на ці напрацювання, питання збереження високої повітропроникності за товщини  $\geq 5,0$  мм для ворсових трикотажних полотен із нитки 150d/f48, виготовлених на в'язальному обладнанні 24 класу, залишається практично недослідженим. Аналіз сучасних конкурентних зразків трикотажу типу «Polar fleese» показує, що більшість виробників не розв'язують це протиріччя: матеріали або мають недостатню товщину, або демонструють низьку повітропроникність через надмірне механічне ущільнення поверхні.

**Постановка завдання.** Враховуючи вище викладене, наразі залишається невирішеною наступна наукова проблема: відсутність технологічного алгоритму, який би дозволив сформувати ворсовий шар граничної товщини без втрати його дифузійної

спроможності. Існуючі методи механічного опорядження на універсальному обладнанні не забезпечують виконання вимог за обома показниками одночасно, що призводить до створення матеріалів із низькими експлуатаційними характеристиками. Тому розв'язання науково-технічного протиріччя між теплоізоляцією та паровідведенням шляхом розробки диференційованого 6-етапного циклу механічного опорядження є актуальною науковою задачею. Це дозволить забезпечити нормативну товщину  $\geq 5,0$  мм та повітропроникність  $\geq 600$   $\text{дм}^3/(\text{м}^2\text{с})$  за рахунок керованого формування Loft-ефекту без критичної оклюзії пор матеріалу.

**Об'єкти та методи дослідження.** Об'єктом дослідження є процес формування ворсової поверхні трикотажного начісного полотна (100% поліестер) із поверхневою густиною  $250 \pm 20$   $\text{г/м}^2$ . Дослідні зразки ворсового трикотажу №0425 та №0005/1 вироблено на спеціалізованому кругов'язальному обладнанні Pailung PL-KSP (24 клас, діаметр циліндра – 26 дюймів) для одержання трикотажу плюшевого переплетення. Вибір 24 класу (E24) базується на необхідності створення високої щільності точок закріплення плюшевих (ворсових) петель у структурі ґрунту трикотажного матеріалу (рис. 1).



**Рис. 1. Процес формування трикотажу плюшевого переплетення як основи текстильного матеріалу типу «Polar fleece»**

У якості ґрунтової використано поліестерову текстуровану нитку лінійної густини 100D/F36/1 NIM. Для утворення ворсового (плюшевого) шару обрано поліестерову нитку 150D/F48/1 NIM з круглою формою поперечного перерізу філаментів. Вибір нитки 150d/48f є науково обґрунтованим. Згідно з дослідженнями

Farha et al. [15] така кількість філаментів з товщиною одиничного волокна близько 3,125 денне забезпечує необхідну жорсткість ворсу на згин, що дозволяє протистояти компресії, на відміну від мікрофіламентних ниток, схильних до швидкого злежування.

Як зазначає Spencer D.J. [10], крок голок у 1,058 мм дозволяє сформувати компактну

петельну основу, яка надійно утримує корінь ворсу під час агресивної механічної дії ворсувальних роликів. Для прецизійного контролю довжини нитки в петлі та стабільності натягу під час в'язання використано пристрій MLT WESCO.

Відповідно до мети роботи, використано комплекс інструментальних методів контролю фізико-механічних та функціональних показників якості ворсового трикотажного матеріалу типу «Polar fleece». Зокрема:

- поверхневу густину вимірювали шляхом зважування зразків, вирізаних круговим різакром площею 100 см<sup>2</sup>, на аналітичних вагах;

- повітропроникність визначено на приладі Air Permeability Tester (ProWhite, Туреччина) згідно з ДСТУ ISO 9237:2003. Заміри проведено при постійному перепаді тиску 50 Па, що відповідає умовам експлуатації матеріалу як утеплювача другого шару;

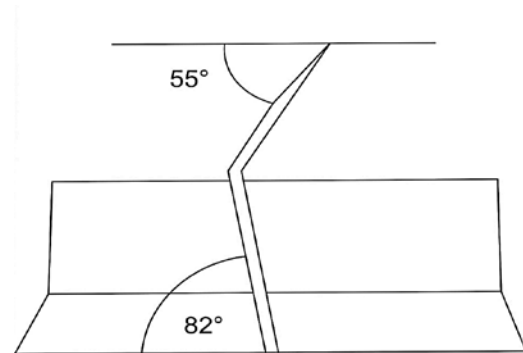
- товщину полотна замірювали з використанням спеціалізованого товщиноміра з площею притискної лапки 25 см<sup>2</sup>. Для збереження нативної (первинної) структури ворсу використовувався тиск 1 Па згідно з ДСТУ ISO 5084:2004;

- стійкість до утворення пілей досліджено на приладі Мартіндейла (2000 циклів) із наступною оцінкою за еталонними шаблонами згідно з ДСТУ ISO 12945-2:2005;

- розтяжність по ширині оцінювали кільцевим методом (розмір зразка 200×50 мм) при навантаженні 6 Н;

- зміну лінійних розмірів після мокрих обробок перевірено після циклу прання при температурі 40 °С згідно з ДСТУ ISO 5077:2001 та ДСТУ ISO 6330:2001.

**Результати дослідження та обговорення.** Механічне опорядження зразка №0425 реалізовано на універсальній двобарабанній ворсувальній машині Mario Crosta (MC 20/24GF) за розробленим диференційованим 6-етапним циклом. Характеристику кардочесальної стрічки наведено на рис. 2. Нижній барабан виконує класичну операцію розворсовування (raising) (рис. 3). Другий барабан працює у режимі фальцювання (felting) [16].



**Рис. 2. Характеристика кардочесальної стрічки:**

діаметр гачка 0.305 мм, щільність гачків 270 шт./дюйм<sup>2</sup>, висота 11 мм з основою

Процес ворсування трикотажного матеріалу, виробленого плюшевим переплетенням, включав наступні шість етапів.

*1-й етап:* Початкове ворсування лицьової сторони (швидкість полотна 10 м/хв) для делікатного підняття верхніх філаментів.

*2-й етап:* Основне ворсування лицьової сторони (швидкість 12 м/хв, швидкість противорсових роликів 32 об/хв). На цьому етапі відбувається інтенсивне перетягування плюшевої нитки на лицьову сторону для формування густого начосу.

*3-й етап:* Ворсування виворітної сторони (швидкість 12 м/хв) для розвитку симетричної ворсової структури.

*4-й етап:* Стабілізація вивороту (швидкість барабана 120 об/хв) для створення ефекту валяння (felting), що закріплює ворс та запобігає його випаданню.

*5-й етап:* «Імітація розчісування» лицьової сторони. На відміну від класичного combing, швидкість роликів знижувалася до 9–10 об/хв. Це дозволило переорієнтувати ворс та відновити Loft-ефект без критичної оклюзії капілярних каналів, описаної в роботах Özkan et al. [14] та Onofrei et al. [7].

*6-й етап:* Фінальна стабілізація виворітної сторони для остаточного закріплення морфологічних параметрів полотна.

Такий підхід дозволив забезпечити необхідну товщину матеріалу без залучення спеціалізованих розчісувальних (combing) машин, зберігаючи при цьому високу повітропроникність, необхідну для паровідведення під час активних дій [21].

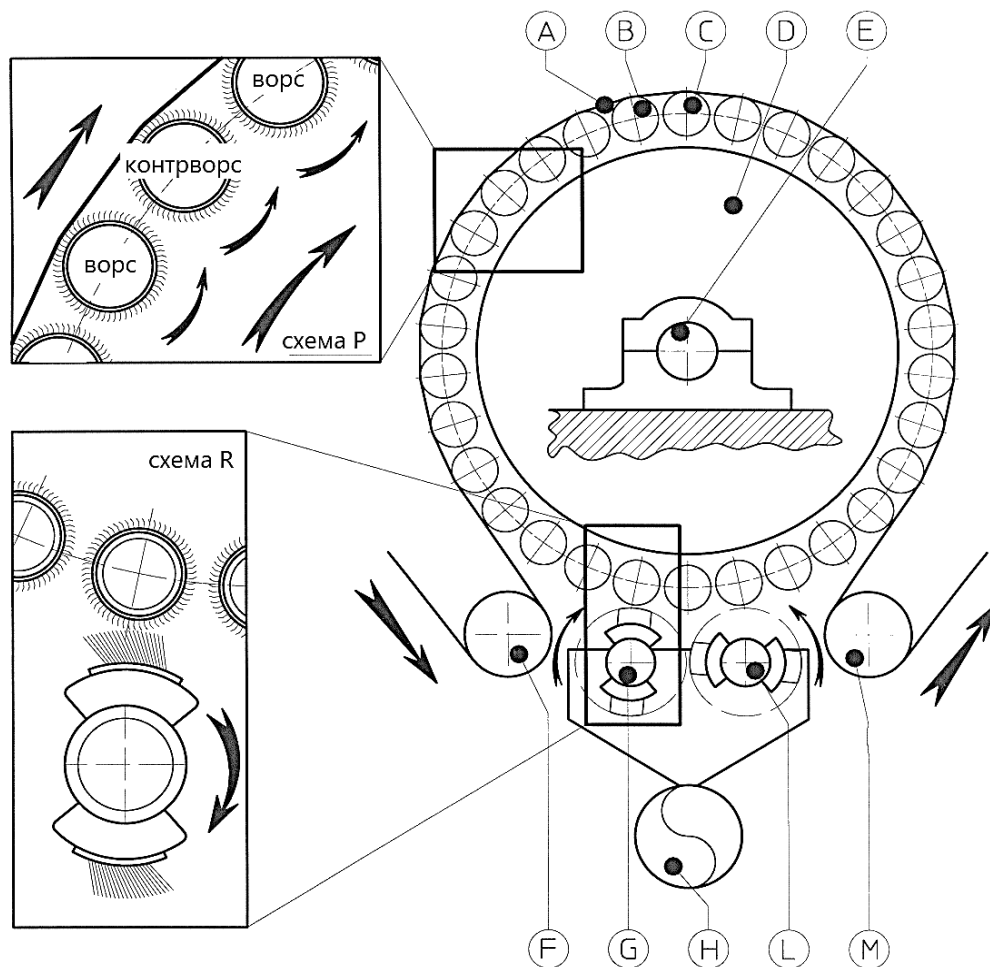


Рис. 3. Схема нижнього ворсувального барабана

**A** – трикотажне полотно; **B** – ворсувальний ролик (ворс); **C** – противорсувальний ролик (контрворс); **D** – головний барабан; **E** – в ісь головного барабана; **F** – ролик швидкості подачі полотна (вхід); **G** – очисна щітка противорсувальних роликів; **H** – аспіраційний короб; **L** – очисна щітка ворсувальних роликів; **M** – ролик швидкості подачі полотна (вихід)

Експериментальні дослідження функціональних показників якості розроблених ворсових трикотажних матеріалів типу «Polar fleece» та порівняний аналіз їх з наявним імпорнтним аналогом дозволили оцінити ефективність запропонованого диференційованого циклу опорядження. Результати комплексних випробувань зразка №0425, зразка №0005/1 (виготовлено без заключної операції розчісування) та імпорнтного аналога №0082/1 виробництва КНР представлені у таблиці 1.

Аналіз даних таблиці 1 підтверджує висунуту гіпотезу щодо технологічного протиріччя між геометричними та дифузійними параметрами ворсу. Зразок виробництва КНР (0082/1), попри відповідність за візуальними

ознаками ворсовому начісному полотну типу «фліс», не задовольняє вимогам Технічної специфікації Міністерства Оборони України щодо якісних характеристик матеріалу куртки утеплювача [17] за обома ключовими показниками якості: товщина становить лише 4,32 мм, а повітропроникність – 551,56 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>с), що нижче нормативного порогу. Це пояснюється застосуванням агресивного механічного розчісування (combing), яке, хоча і вирівнює ворс, призводить до його надмірного ущільнення та оклюзії капілярних каналів, про що зазначалося у роботах Özkan et al. [14]. Натомість, зразок №0005/1, виготовлений за розробленим 4-етапним диференційованим циклом без фінального розчісування, демонструє найкращі

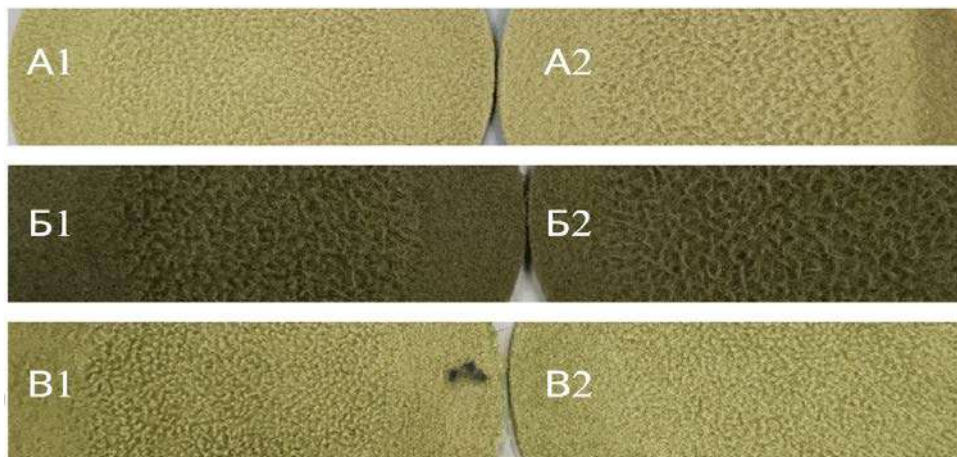
результати: товщина сягає нормативних 5,0 мм при одночасному забезпеченні надвисокої повітропроникності (764,33  $\text{дм}^3/(\text{м}^2\text{с})$ ). Такий ефект досягається завдяки вертикально орієнтованому направленню волокон, де ворсинки створюють об'ємний теплоізоляційний шар, не перекриваючи при цьому шлях повітряному потоку [21].

У ході розробки диференційованого підходу до процесу опорядження окрему увагу приділено дослідженню зносостійкості поверхні ворсового начісного полотна типу «фліс», а саме стійкості до утворення пілей. На рис. 4 представлено зовнішній вигляд зразків після випробувань на пілінгоутворення за методом Мартіндейла.

Таблиця 1

**Характеристика дослідних зразків ворсового трикотажу**

Найменування показників, одиниці вимірювань	Показники згідно НД	Результати випробувань зразків			Нормативний документ на методи випробувань
		0425	0005/1	0082/1	
1	2	3	4	5	6
Склад сировини (вміст поліестеру), %	100	100	100	100	ДСТУ 4057-2001
Поверхнева густина, $\text{г}/\text{м}^2$	$250 \pm 20$	255	246	250	ДСТУ EN 12127:2009
Розтяжність по ширині (за петельними рядками) при навантаженні 6Н, %	від 15 до 40	16	15,27	20,54	ГОСТ 8847-85
Розривальне зусилля по довжині (за петельними стовпчиками), Н, не менше	300	582,3	678,96	425,05	ГОСТ 8847-85
Зміна лінійних розмірів по довжині та по ширині після 3 циклів прання та сушіння (пральна машина тип А, процедура прання 6А (40°C), процедура сушіння Е), %, не більше	5	-0,1 -0,6	-1,3 -3,1	-0,4 -0,1	ДСТУ ISO 5077-2001 ДСТУ ISO 6330-2001
Повітропроникність, $\text{мм}/\text{с}$ ( $\text{дм}^3/(\text{м}^2\text{с})$ , при тиску 50 Па, не менше	600	667,78	764,33	551,56	ДСТУ ISO 9237:2003
Гігроскопічність, %, не більше	2	0,8	-	1,7	ДСТУ ГОСТ 3816:2009
Схильність до пілінгованості (2000 циклів з лицьової/виворітної сторони), бали, не менше	3	4/3	3/2-3	3-4/3-4	ДСТУ ISO 12945-2:2005
Товщина полотна, мм, не менше	5	4,65	5	4,32	ДСТУ ISO 5084:2004



**Рис. 4. Фото дослідних зразків після випробувань на пілінгоутворення за методом Мартіндейла (1 – лицьова сторона, 2 – виворітна сторона):**  
А – зразок 04251; Б – зразок 0005/1; В – зразок 0082/1

Незважаючи на відсутність операції розчісування (combing), зразки №0425 та №0005/1 зберегли стабільність ворсового шару на рівні 3–4 балів, що відповідає вимогам нормативної документації [17]. Це підтверджує, що вибір в'язального обладнання 24 класу [10] та нитки 150d/f48 [14] забезпечує достатню силу закріплення волокон у петельній структурі ґрунту, запобігаючи їх швидкому скочуванню, навіть за умови зменшення щільності в'язання задля збільшення наскрізної пористості та забезпечення високого рівня повітропроникності трикотажного матеріалу.

**Висновки.** Вперше встановлено характер впливу параметрів диференційованого багатоетапного ворсування на універсальному двобарабанному обладнанні на баланс показників товщини та повітропроникності ворсового трикотажного матеріалу типу «Polar fleese», виробленого плюшевим переплетенням. Доведено, що виключення етапу примусового розчісування при збереженні імітаційного ворсування на знижених швидкостях дозволяє розв'язати

наукове протиріччя між «Loft-ефектом» та дифузійною спроможністю матеріалу, забезпечуючи приріст повітропроникності на 20–30% порівняно з традиційними методами опорядження за умови збереження товщини у 5 мм.

Розроблений енергоефективний технологічний цикл механічного опорядження ворсового трикотажу типу «Polar fleese» на універсальному обладнанні дозволяє без використання розчісувальних (combing) машин отримувати матеріали, що повністю відповідають вимогам до показників якості матеріалу куртки утеплювача [17], а саме: гладко пофарбованого трикотажного ворсового начісного полотна типу «фліс». Впровадження результатів дослідження у виробничий процес ПрАТ «Трикотажна фабрика «Роза» (Україна) дозволило знизити собівартість продукції та забезпечити високі функціональні властивості трикотажного ворсового начісного полотна типу «фліс», що використовується у якості матеріалу куртки костюма утеплювача.

#### Література

1. Glombikova V., Komarkova P., Hercikova E., Havelka A. How high-loft textile thermal insulation properties depend on compressibility. *Autex Research Journal*. 2020. No. 20(3). P. 338–343.
2. Seddik K. M., Yahia S. Impact of nap-processing and weft density on the functionalization and protection properties of polyester uniforms produced with fancy weaves. *Research Journal of Textile and Apparel*. 2025. No. 29 (4). P. 922–938.

#### References

1. Glombikova, V., Komarkova, P., Hercikova, E., & Havelka, A. (2020). How high-loft textile thermal insulation properties depend on compressibility. *Autex Research Journal*, 20(3), 338–343.
2. Seddik, K. M., & Yahia, S. (2025). Impact of nap-processing and weft density on the functionalization and protection properties of polyester uniforms produced with fancy weaves. *Research Journal of Textile and Apparel*, 29(4), 922–938.

3. Islam M. R., Golovin K., Dolez P. I. Clothing thermophysiological comfort: A textile science perspective. *Textiles*. 2023. No. 3 (4). P. 353–407.
4. Maduna L., Patnaik A. Heat, moisture and air transport through clothing textiles. *Textile Progress*. 2020. No. 52 (3). P. 129–166.
5. Das A., Alagirusamy R. *Science in clothing comfort* (pp. 31–53). New Delhi: Woodhead Publishing India Pvt Limited, 2010.
6. Kumbasar E. P. A., Marmaralı Arzu, Oglakcioglu N. Finishing treatment effects on thermal comfort properties of three-yarn fleece fabrics. *AATCC Review*. 2011. Vol. 11, No. 4. P. 46–51.
7. Onofrei E., Rocha A. M., Catarino A. The influence of knitted fabrics' structure on the thermal and moisture management properties. *Journal of engineered Fibers and Fabrics*. 2011. No. 6 (4). Art. 155892501100600403.
8. Schacher L., Adolphe D., Drean J.-Y. Comparison between thermal insulation and thermal properties of classical and microfibre polyester fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2000. No. 12. P. 84–95. DOI: <https://doi.org/10.1108/09556220010371711>.
9. Li Y. The science of clothing comfort. *Textile Progress*. 2001. No. 31 (1–2). P. 1–135.
10. Spencer D. J. *Knitting Technology: A Comprehensive Handbook and Practical Guide*. 3rd ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2001. 445 p.
11. Kaikobad M., Mahmud M. F., Sayam A., Paul S., Reza M. M., Faruque M., Apel N., Sarker E. Evaluation of physical and mechanical characteristics of Three-Thread Fleece knit fabric for their structural changes. *Heliyon*. 2023. Art. e21588. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21588>.
12. Gunesoglu S., Babalik E. Statistical Study on the Effect of Yarn Fineness on Heat and Mass Transfer Properties of Single Jersey Knitted Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2023. Vol. 31, No. 5. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.2478/ftce-2023-0040>.
13. Baczek M., Gruszka I. Investigation of air permeability of new generation fleece fabrics in dry and wet state. 2014.
14. Özkan E. T., Kaplangiray B. M. Investigating thermophysiological comfort properties of polyester knitted fabrics. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*. 2019. No. 5(1). P. 50–56. DOI: <https://doi.org/10.15406/jteft.2019.05.00180>.
15. Farha F. I., Smriti S. A., Sarker Md. A. A. H., Xu F. Fibrous Impact on Several Primary Characteristics of Three-Thread Fleece Fabric. *AATCC Journal of Research*. 2019. No. 6(5). P. 30–38. DOI: <https://doi.org/10.14504/ajr.6.5.5>.
16. Technology of Raising and Felting. *Danti Paolo & C. S.r.l.* URL: <https://www.danti.it/technology/technology-raising/>
17. Т С А 0 1 X J . 3 0 6 5 5 - 2 9 1 : 2 0 2 0 ( 0 1 ) . К у р т к а к о с т ю м а у т е п л ю в а ч а . Т е х н і ч н а с п е ц и ф і к а ц і я М і н і с т е р с т в а О б о р о н и У к р а ї н и .
3. Islam, M. R., Golovin, K., & Dolez, P. I. (2023). Clothing thermophysiological comfort: A textile science perspective. *Textiles*, 3(4), 353–407.
4. Maduna, L., & Patnaik, A. (2020). Heat, moisture and air transport through clothing textiles. *Textile Progress*, 52(3), 129–166.
5. Das, A., & Alagirusamy, R. (2010). *Science in clothing comfort* (pp. 31–53). New Delhi: Woodhead Publishing India Pvt Limited.
6. Kumbasar, E. P. A., Marmaralı, A., & Oglakcioglu, N. (2011). Finishing treatment effects on thermal comfort properties of three-yarn fleece fabrics. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 21(1), 46–51.
7. Onofrei, E., Rocha, A. M., & Catarino, A. (2011). The influence of knitted fabrics' structure on the thermal and moisture management properties. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 6(4), 155892501100600403.
8. Schacher, L., Adolphe, D., & Drean, J.-Y. (2000). Comparison between thermal insulation and thermal properties of classical and microfibre polyester fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 12(2), 84–95. <https://doi.org/10.1108/09556220010371711>.
9. Li, Y. (2001). The science of clothing comfort. *Textile Progress*, 31(1–2), 1–135.
10. Spencer, D. J. (2001). *Knitting Technology: A Comprehensive Handbook and Practical Guide* (3rd ed.). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
11. Kaikobad, M., Mahmud, M. F., Sayam, A., Paul, S., Reza, M. M., Faruque, M., Apel, N., & Sarker, E. (2023). Evaluation of physical and mechanical characteristics of Three-Thread Fleece knit fabric for their structural changes. *Heliyon*, 9(1), e21588. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21588>.
12. Gunesoglu, S., & Babalik, E. (2023). Statistical Study on the Effect of Yarn Fineness on Heat and Mass Transfer Properties of Single Jersey Knitted Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 31(5), 1–9. <https://doi.org/10.2478/ftce-2023-0040>
13. Baczek, M., & Gruszka, I. (2014). Investigation of air permeability of new generation fleece fabrics in dry and wet state.
14. Özkan, E. T., & Kaplangiray, B. M. (2019). Investigating thermophysiological comfort properties of polyester knitted fabrics. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 5(1), 50–56. <https://doi.org/10.15406/jteft.2019.05.00180>
15. Farha, F. I., Smriti, S. A., Sarker, M. A. A. H., & Xu, F. (2019). Fibrous Impact on Several Primary Characteristics of Three-Thread Fleece Fabric. *AATCC Journal of Research*, 6(5), 30–38. <https://doi.org/10.14504/ajr.6.5.5>.
16. Danti Paolo & C. S.r.l. (n.d.). Technology of Raising and Felting. Retrieved from <https://www.danti.it/technology/technology-raising/>
17. TS A01XJ.30655-291:2020 (01). Куртка костюма утеплювача. Технічна специфікація Міністерства Оборони України. [Insulation suit jacket. Technical specification of the Ministry of Defense of Ukraine] [in Ukrainian].

18. ДСТУ ISO 12945-2:2005. Матеріали текстильні. Визначення схильності до утворення пілінгу.
19. Девогоуц Д. В., Галавська Л. Є. Пошук шляхів удосконалення характеристик ворсового матеріалу типу "фліс". Тези доповідей конф. ХНУ, 2024.
20. Випробувальна лабораторія ТОВ "ЄВРО ФУДС ГБ УКРАЇНА". Атестат про акредитацію № 2Н1142 від 23.01.2024 р., виданий Національним агентством з акредитації України (НААУ) на відповідність вимогам ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. м. Бровари, Україна 2024.
21. ISO 11092:2014. Textiles – Physiological effects – Measurement of thermal and water-vapour resistance.
18. DSTU ISO 12945-2:2005. Materialy tekstylni. Vyznachennia skhylnosti do utvorennia pilinhu [Textiles. Determination of fabric propensity to surface fuzzing and to pilling] [in Ukrainian].
19. Devohuts, D. V., & Halavska, L. Ye. (2024). Poshuk shliakhiv udoskonalennia kharakterystyk vorsovoho materialu typu "flis" [Searching for ways to improve the characteristics of "fleece" type pile material]. *Tezy dopovidei konf. KhNU – Abstracts of the KhNU conference* [in Ukrainian].
20. Testing Laboratory LLC "EURO FOODS GB UKRAINE". (2024). Atestat pro akredytatsiiu № 2N1142 vid 23.01.2024 r., vydanyy Natsionalnym ahentstvom z akredytatsii Ukrainy (NAAU) na vidpovidnist vymoham DSTU EN ISO/IEC 17025:2019 [Accreditation certificate No. 2H1142 dated 01.23.2024, issued by the National Accreditation Agency of Ukraine (NAAU) for compliance with the requirements of DSTU EN ISO/IEC 17025:2019]. Brovary, Ukraine [in Ukrainian].
21. ISO 11092:2014. Textiles – Physiological effects – Measurement of thermal and water-vapour resistance.

Стаття надійшла до редакції /  
Received 17.02.2026

Прийнята до друку /  
Accepted 12.03.2026

Опубліковано /  
Published 09.04.2026

УДК 677.057  
<https://doi.org/10.30857/2706-5898.2026.1.6>

### КОРОБЧЕНКО ЄВГЕН

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна  
e-mail: korobchenko.yo@knuud.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0002-6026-1427>

### ГОРОБЕЦЬ ВАСИЛЬ

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна  
e-mail: va1948@ukr.net  
<https://orcid.org/0000-0001-5174-3224>

### ДВОРЖАК ВОЛОДИМИР

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна  
e-mail: dvorzhak.vm@knuud.com.ua  
<https://orcid.org/0000-0002-1693-9106>

## МАТЕМАТИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ТОВЩИНИ МАГНІТОПРОВОДУ НОВОГО МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ШВЕЙНОЇ МАШИНИ

**Мета.** Встановити закономірності впливу геометричних та фізичних параметрів нового розробленого авторами механізму транспортування матеріалів швейної машини на величину магнітної сили в робочому зазорі, а також визначити раціональні параметри його магнітопроводу з метою мінімізації маси рухомих елементів і покращення динамічних характеристик пристрою.

**Методика.** Дослідження виконано із застосуванням методів математичного моделювання та повнофакторного експерименту. Для аналізу роботи магнітного механізму транспортування матеріалів використано програмне середовище FEMM (Finite Element Method Magnetics).

**Результати.** Визначено вплив конструктивних параметрів механізму переміщення матеріалів швейної машини на величину магнітної сили притиску. Показано, що зміна геометричних характеристик елементів верхнього транспортуючого органу, зокрема висоти магнітопроводу суттєво впливає на величину зусилля притискання при переміщенні матеріалу. Встановлено, що при певних значеннях конструктивних параметрів система переходить у режим насичення, у якому подальша зміна розмірів окремих елементів не призводить до суттєвого підвищення ефективності роботи, що є важливим з точки зору раціонального проектування та зменшення масо-габаритних показників механізму.

**Наукова новизна.** Вперше встановлено закономірності впливу геометричних параметрів магнітопроводу та характеристик магнітної системи на величину сили в робочому зазорі нового механізму транспортування матеріалів швейної машини; розроблено номограми для визначення його раціональних значень параметрів, що забезпечують покращення динамічних характеристик і зниження маси рухомих елементів.

**Практична значимість.** Запропоновані підходи до визначення раціональних параметрів магнітопроводу дозволяють зменшити масу рухомих елементів, підвищити динамічні характеристики механізму переміщення матеріалів швейної машини.

Розроблена регресійна модель, а також отримані номограми і таблиці підбору можуть бути використані інженерами для визначення раціональних конструктивних параметрів даного пристрою без проведення складних математичних розрахунків. Це забезпечує скорочення часу проектування та підвищення ефективності розробки нових технічних рішень.

**Ключові слова:** швейна машина; транспортування матеріалів; магнітний механізм; магнітопровід; магнітна сила; повнофакторний експеримент; регресійна модель; оптимізація параметрів; магнітне насичення; динамічні характеристики.

# MATHEMATICAL EXPERIMENT FOR DETERMINING THE MAGNETIC CORE THICKNESS OF A NEW MATERIAL FEEDING MECHANISM FOR A SEWING MACHINE

KOROBCHENKO YEVHEN, HOROBETS VASYL, DVORZHAK VOLODYMYR  
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**Purpose.** To establish the patterns of influence of geometric and physical parameters of a newly developed material feeding mechanism for a sewing machine on the magnitude of the magnetic force in the working gap, and to determine rational parameters of its magnetic core in order to minimize the mass of moving elements and improve the dynamic characteristics of the device.

**Methodology.** The study was carried out using methods of mathematical modeling and a full factorial experiment. The FEMM (Finite Element Method Magnetics) software environment was used to analyze the operation of the magnetic material feeding mechanism.

**Results.** The influence of the design parameters of the sewing machine material movement mechanism on the magnitude of the magnetic clamping force was determined. It was shown that changing the geometric characteristics of the elements of the upper transporting body, in particular the height of the magnetic core, significantly affects the magnitude of the clamping force when moving the material. It was established that at certain values of the design parameters the system enters a saturation mode, in which further changing the dimensions of individual elements does not lead to a significant increase in work efficiency, which is important from the point of view of rational design and reducing the mass and dimensions of the mechanism.

**Scientific novelty.** For the first time, the influence patterns of the geometric parameters of the magnetic core and the characteristics of the magnetic system on the force in the working gap of the new sewing machine material feeding mechanism have been established. Nomograms have been developed to determine rational parameter values that ensure improved dynamic characteristics and reduced mass of moving elements.

**Practical significance.** The proposed approaches to determining rational parameters of the magnetic core make it possible to reduce the mass of moving elements and improve the dynamic characteristics of the sewing machine material feeding mechanism. The developed regression model, as well as the obtained nomograms and selection tables, can be used by engineers to determine rational design parameters of the device without performing complex mathematical calculations. This ensures a reduction in design time and increases the efficiency of developing new technical solutions.

**Keywords:** sewing machine; material feeding; magnetic mechanism; magnetic core; magnetic force; full factorial experiment; regression model; parameter optimization; magnetic saturation; dynamic characteristics.

**Вступ.** Сучасний розвиток швейного виробництва характеризується суттєвим розширенням асортименту текстильних матеріалів та підвищенням вимог до якості готових виробів. Одним із ключових показників, що визначає якість процесу зшивання, є якість транспортування матеріалів в процесі шиття. Особливої уваги набуває проблема відносного зміщення шарів матеріалу (так звана «посадка»), яка негативно впливає на зовнішній вигляд і експлуатаційні властивості виробів [1, 2].

Незважаючи на значну кількість досліджень і технічних рішень [3–8], спрямованих на зменшення або усунення цього явища, досягти повного нівелювання посадки на сьогодні не вдається. Існуючі

підходи базуються на вдосконаленні конструкцій транспортуючих і притискних органів, зміні режимів їх роботи або використанні додаткових механізмів переміщення матеріалів. Проте обмеження, пов'язані з фізичними умовами взаємодії шарів матеріалу, не дозволяють забезпечити ідентичні умови їх транспортування.

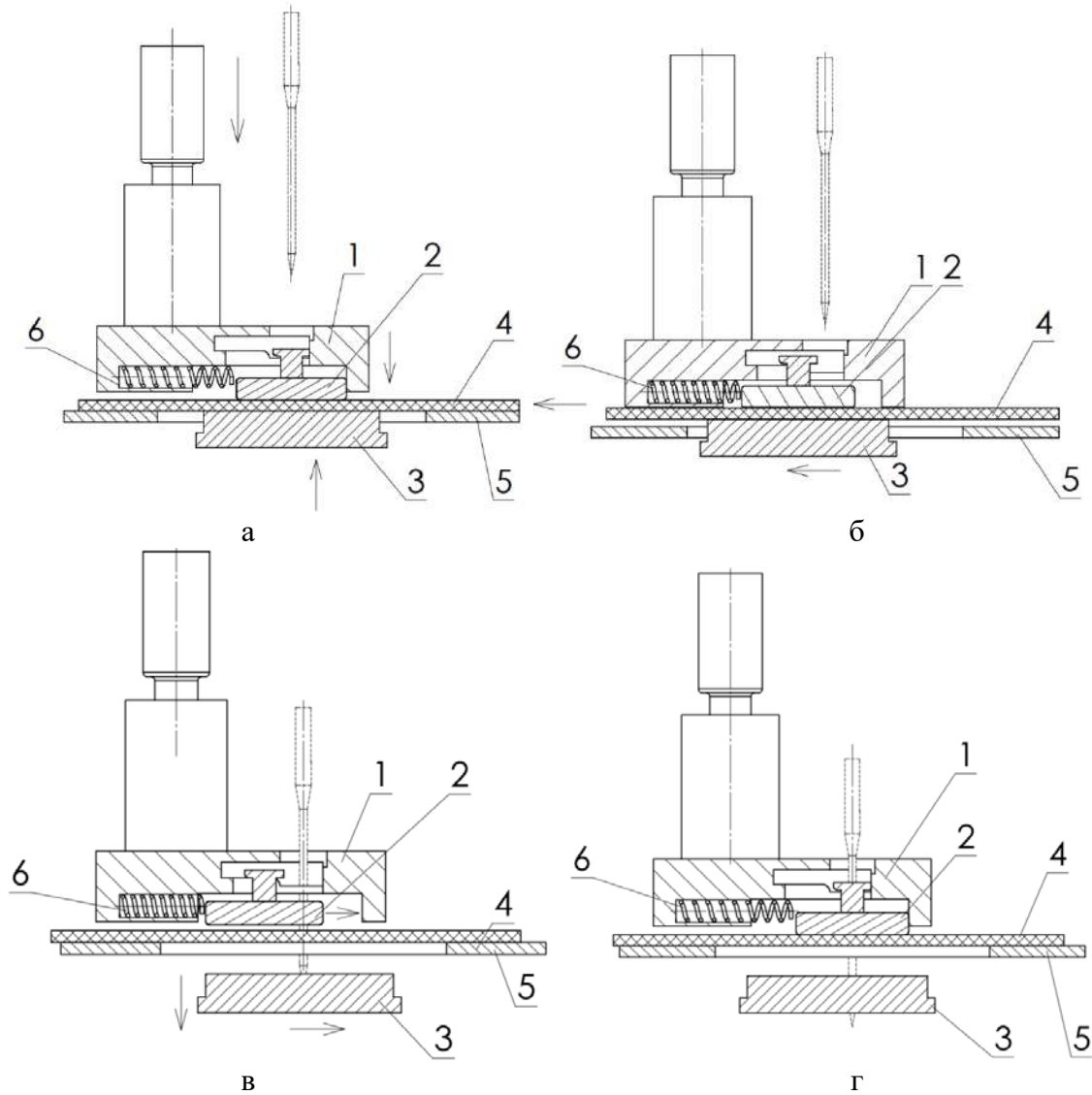
У попередніх дослідженнях [9–11] авторами було запропоновано інноваційний спосіб і пристрій транспортування матеріалів на швейній машині, що ґрунтується на використанні сил магнітного поля (рис. 1). На відміну від традиційних підходів, у запропонованому способі зусилля транспортування створюється за рахунок взаємодії ведучого та веденого транспортуючих

органів, між якими формується магнітне поле. Це дозволяє здійснювати синхронне переміщення матеріалів без заглиблення робочих поверхонь у матеріал, зменшити їх пошкодження та потенційно усунути явище посадки.

У зв'язку з цим актуальним є подальше дослідження параметрів магнітних систем, що забезпечують ефективність реалізації запропонованого способу. Зокрема,

важливим є визначення раціональних геометричних і фізичних характеристик магнітопроводу, які впливають на величину сили в робочому зазорі та динамічні характеристики механізму.

Таким чином, дослідження, спрямовані на аналіз і оптимізацію параметрів магнітних механізмів транспортування матеріалів швейних машин, є актуальними та мають як наукове, так і практичне значення.



**Рис. 1. Новий спосіб переміщення матеріалів на швейній машині:**

1 – корпус; 2 – ведений транспортуючий орган; 3 – ведучий транспортуючий орган;  
4 – матеріал; 5 – голкова пластина; 6 – зворотна пружина

**Постановка завдання.** Поставлено такі завдання дослідження:

– проаналізувати вплив основних факторів (коерцитивної сили магніту, геометричних параметрів магнітів і

транспортуючого органу, властивостей феромагнітного матеріалу) на величину магнітної сили;

– дослідити залежність сили в робочому зазорі від висоти магнітопроводу та

встановити характер її зміни з урахуванням явища магнітного насичення;

– визначити параметр раціональної висоти магнітопроводу на основі досягнення асимптотичного значення сили;

– побудувати математичну (регресійну) модель, що описує вплив факторів та їх взаємодій на досліджуваний процес;

– отримати дані для інженерних розрахунків при визначенні раціональних параметрів магнітного механізму транспортування матеріалів.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Для проведення дослідження в програмному середовищі FEMM (Finite Element Method Magnetics) [12, 13] була побудована система геометричних об'єктів,

що спрощено моделювала елементи магнітного рушія – магнітні елементи 1, феромагнітний нижній транспортуючий орган 2, текстильний матеріал 3, голчата пластина 4, магнітопровід 5 (рис. 2).

Фактори експерименту та їх рівні наведено в таблиці 1. Кожній комбінації факторів  $X_1$ – $X_5$  присвоєно індекс  $j$ . Для кожної комбінації  $j$  проводились повторні вимірювання проводились по змінній  $X_6$  – висота перерізу магнітопроводу  $h_{mp}$ , що приймала значення (мм): 0.5; 1.0; 1.5; 1.75; 2.0; 2.25; 2.5; 3.0; 3.5; 4; 5; 10.0; 15.0. Відгук експерименту – магнітна сила на одиницю глибини  $q_y$ , що виникає в зазорі між магнітими та транспортуючим органом.

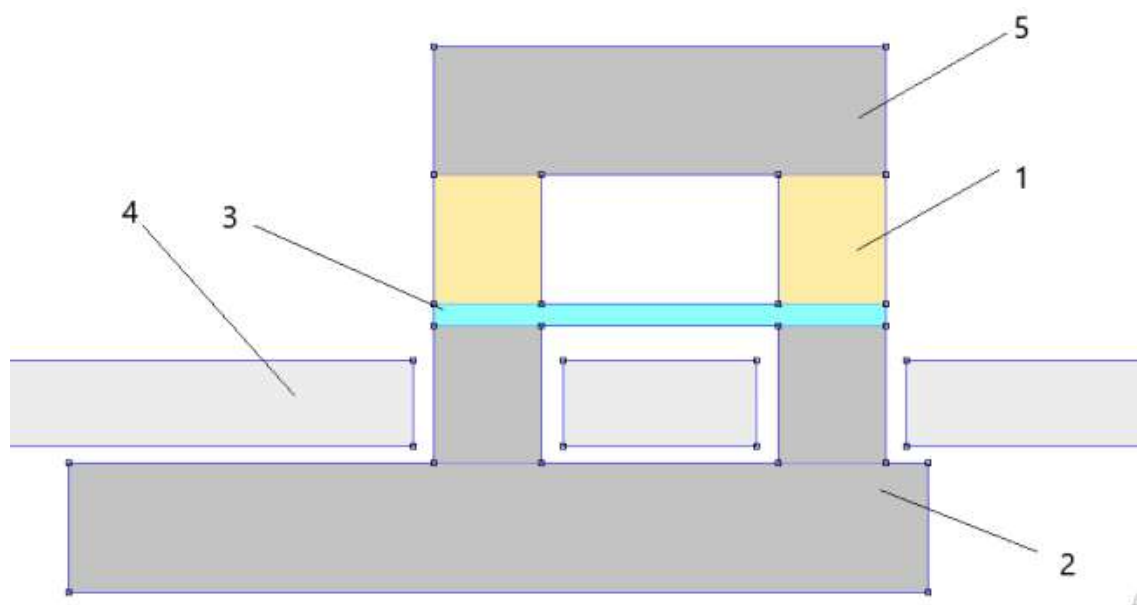


Рис. 2. Елементи геометричної побудови об'єктів моделювання

Таблиця 1

#### НЕЗАЛЕЖНІ ФАКТОРИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

№	Фактор	Позначення	Кодування	Кількість рівнів	Рівні фактора
1	клас магніту NdFeB / Коерцитивна сила, А/м	$magnet\_type$ $/H_c$	$X_1$	2	N35 / 891598 N52 / 1083531
2	Висота магніту, мм	$h_{magn}$	$X_2$	2	2,0; 6,0
3	Ширина магніту, мм	$w_{magn}$	$X_3$	2	3,0; 6,0
4	Ширина зуба феромагнітного транспортуючого органу, мм	$w_{tooth}$	$X_4$	2	1,6; 3,0
5	Матеріал феромагнетика/ Відносна магнітна проникність	$Steel\_type$ / $\mu_{fer}$	$X_5$	2	EN 1.0401 (C15) / 529 EN 1.0725 (15SMn13) / 1777
6	Висота магнітопроводу, мм	$h_{mp}$	$X_6$	13	0.5; 1.0; 1.5; 1.75; 2.0; 2.25; 2.5; 3.0; 3.5; 4; 5; 10.0; 15.0.

Фактори, що технологічно та фізично є константами для конструкції пристрою наведено в таблиці 2.

Приклади залежності магнітної сили від висоти магнітопроводу показано на рис. 3–5 для деяких комбінацій факторів  $j$ . Аналіз отриманих залежностей  $q_y = f(h_{mp})$  показав наявність асимптот паралельних осі абсцис, для будь яких комбінацій факторів  $j$ .

Для кількісної оцінки області насичення введено параметр висоти насичення магнітопроводу –  $h_{mp(sat)}$ . Під  $h_{mp(sat)}$  розуміють таке значення висоти магнітопроводу  $h_{mp}$ , при якому сила в робочому зазорі  $q_y$  досягає 95% від значення  $q_{y\_asympt}$ . Подальше збільшення висоти практично не впливає на величину сили.

Фізичну суть результатів залежності  $q_y = f(h_{mp})$  у вигляді графіку з асимптотою можна пояснити явищем магнітного насичення феромагнетика. Так для ділянки різкого зростання сили характерна картина розподілу магнітної індукції та графік розподілу індукції по перерізу магнітопроводу (рис. 6) показують магнітне насичення матеріалу з  $B > 2Тл$ .

Натомість для ділянки плато сили характерна картина розподілу магнітної індукції та графік розподілу індукції по перерізу магнітопроводу (рис. 7) показують відсутність магнітного насичення матеріалу з  $B < 2Тл$ .

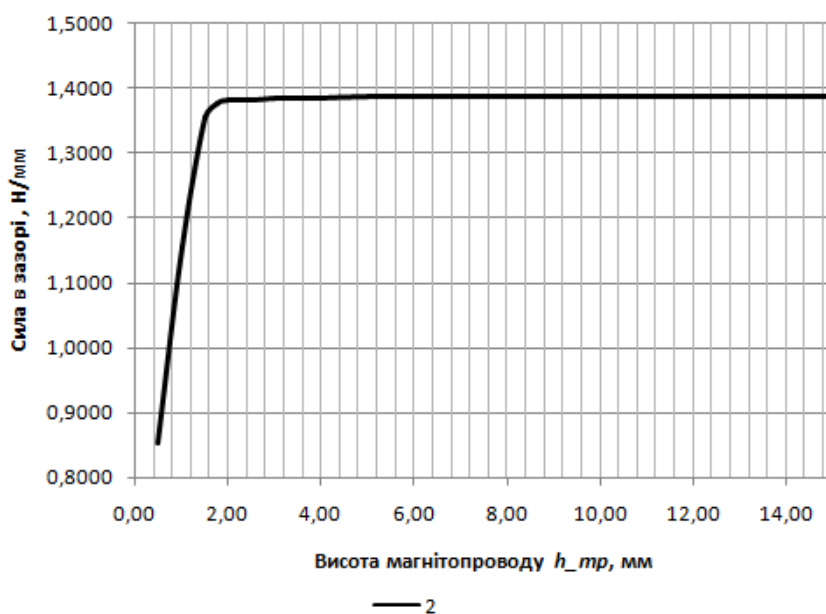
Визначення асимптоти  $q_{y\_asympt}$  та  $h_{mp(sat)}$  проводилось шляхом аналізу отриманих даних експерименту за допомогою мови програмування Python 3.8. Результати наведено в таблиці 3.

Асимптота кривої була визначена шляхом лінійної апроксимації останніх  $N$  точок кривої методом найменших квадратів. Вибір останніх точок дозволяє ігнорувати початкову нелінійну ділянку та зосередитися на частині кривої, яка вже наближається до насичення. Якщо нахил апроксимованої прямої менший за встановлений поріг (прийнято, 1%), вважається що система досягла плато, і екстрапольоване значення прямої береться як асимптота. Такий підхід дозволяє отримати обґрунтоване значення асимптоти, уникаючи спотворень через випадкові коливання останніх точок.

Таблиця 2

Фактори, що технологічно є константами

Магнітна проникність вакууму	Висота зуба	Зазор між зубами	Висота основи рейки	Товщина тканини, мм
$\mu_0$ (Гн/м)	$h_{tooth}$ (мм)	$w_{bas}$ (мм)	$h_{bas}$ (мм)	$h_{fabr}$
1,2566E-06	3,2	5,5	3	0,5

Рис. 3. Залежність  $q_y = f(h_{mp})$  для комбінації факторів  $j = 2$

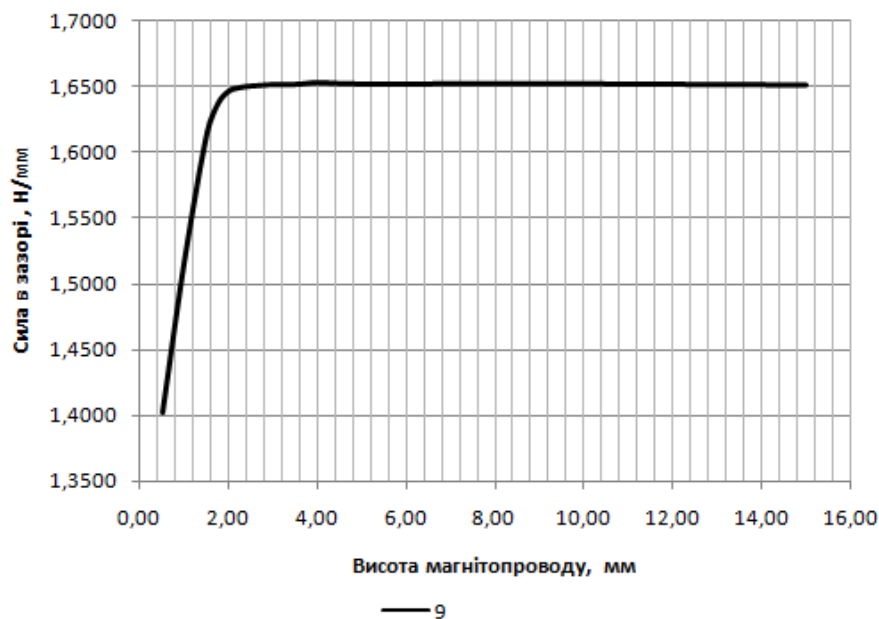


Рис. 4. Залежність  $q_y = f(h_{mp})$  для комбінації факторів  $j = 9$

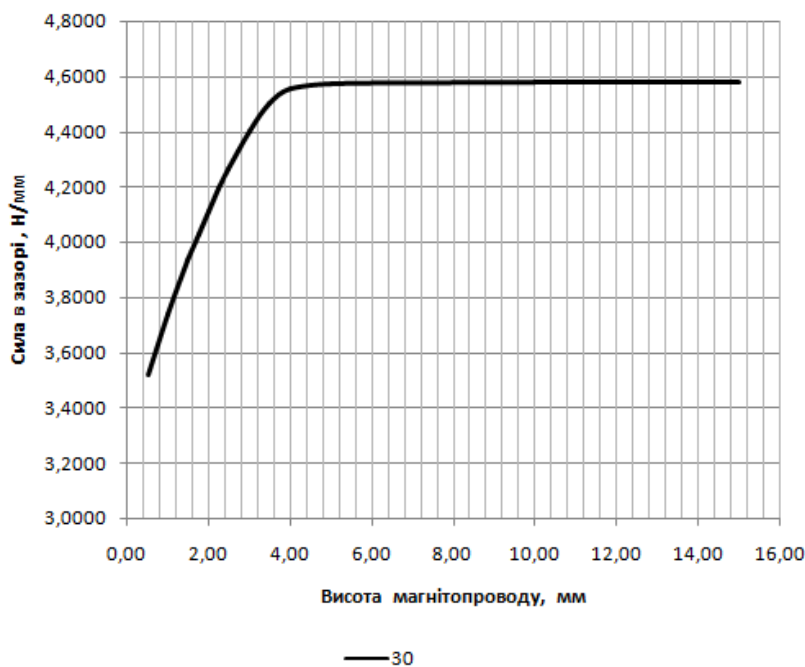


Рис. 5. Залежність  $q_y = f(h_{mp})$  для комбінації факторів  $j = 30$

Значення максимальної висоти магнітопроводу  $h_{mp(sat)}$  визначалось для величини сили  $q_y$  рівної 95% від визначеної асимптоти та обчислюється шляхом лінійної інтерполяції між сусідніми точками кривої, які обмежують цільове значення.

Всі обчислення проведено для кожного експериментального набору  $j$ .

З врахуванням отриманих даних побудовано регресійну модель другого порядку:

$$h_{mp_{sat}} = -1.7075 + 1.7241 \cdot 10^{-6} * H_c + 0.4085 * w_{magn} + 0.1158 * w_{tooth},$$

де  $H_c, w_{magn}, w_{tooth}$  – відповідно, коерцитивна сила магніту, А/м, ширина магніту, мм та ширина зубця, мм.

Для зручності інженерних розрахунків представимо розв'язок регресійної моделі у вигляді числових значень підбору (таблиця 4) та набору номограм (рис. 8).

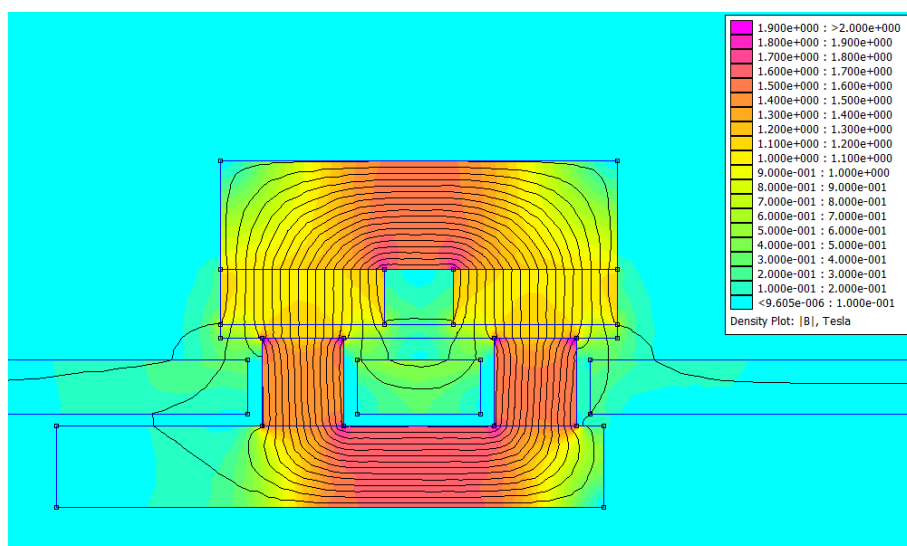


Рис. 6. Розподіл магнітної індукції в магнітному ланцюгу магнітного пристрою для транспортування матеріалів швейної машини при  $h_{mp} = 4,00$  мм (комбінація  $j=23$ )

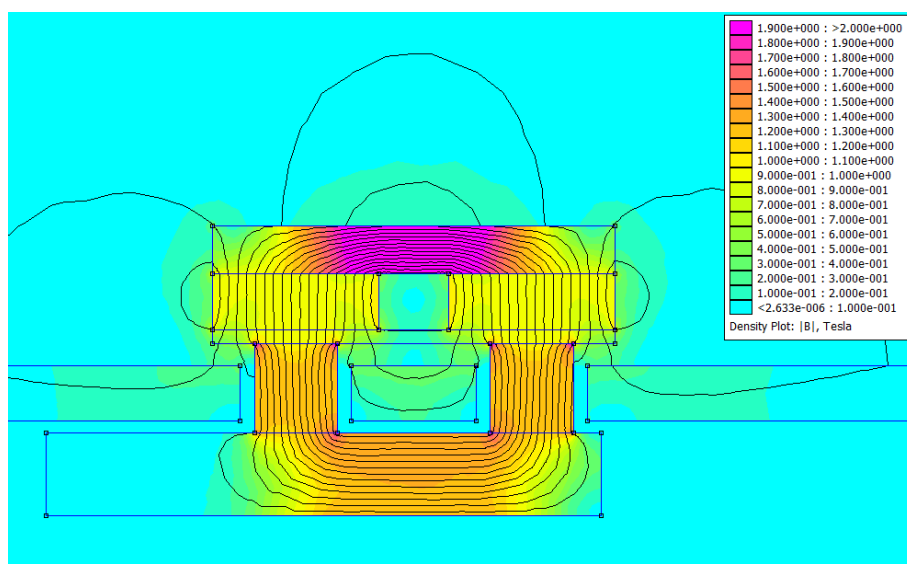


Рис. 7. Розподіл магнітної індукції в магнітному ланцюгу магнітного пристрою для транспортування матеріалів швейної машини при  $h_{mp} = 1,75$  мм (комбінація  $j = 23$ )

Таблиця 3

Результати обробки даних ПФЕ з визначенням  $q_y$  - асмпт та  $h_{mp(sat)}$

№ комб.	Комбінації параметрів					Розраховані значення	
	$H_c$ (А/м)	$h_{magn}$	$w_{magn}$	$w_{tooth}$	$\mu_{fer}$	$q_y$ - асмпт	$h_{mp(sat)}$
1	891598	2,0	3,0	1,6	529	1,372	1,418
2	891598	2,0	3,0	1,6	1777	1,386	1,406
3	891598	2,0	3,0	3,0	529	1,507	1,476
4	891598	2,0	3,0	3,0	1777	1,518	1,458
5	891598	2,0	6,0	1,6	529	2,396	2,362
6	891598	2,0	6,0	1,6	1777	2,423	2,347
7	891598	2,0	6,0	3,0	529	2,933	2,613
8	891598	2,0	6,0	3,0	1777	2,973	2,612
9	891598	6,0	3,0	1,6	529	1,651	1,260
10	891598	6,0	3,0	1,6	1777	1,666	1,263
11	891598	6,0	3,0	3,0	529	1,795	1,357
12	891598	6,0	3,0	3,0	1777	1,803	1,355
13	891598	6,0	6,0	1,6	529	3,216	2,425

№ комб.	Комбінації параметрів					Розраховані значення	
	$H_c$ (А/м)	$h_{magn}$	$w_{magn}$	$w_{tooth}$	$\mu_{fer}$	$q_{y\_asymp}$	$h_{mp(sat)}$
14	891598	6,0	6,0	1,6	1777	3,235	2,407
15	891598	6,0	6,0	3,0	529	3,788	2,606
16	891598	6,0	6,0	3,0	1777	3,825	2,587
17	1083531	2,0	3,0	1,6	529	2,003	1,622
18	1083531	2,0	3,0	1,6	1777	2,032	1,613
19	1083531	2,0	3,0	3,0	529	2,222	1,724
20	1083531	2,0	3,0	3,0	1777	2,240	1,707
21	1083531	2,0	6,0	1,6	529	3,419	2,809
22	1083531	2,0	6,0	1,6	1777	3,447	2,789
23	1083531	2,0	6,0	3,0	529	4,253	3,063
24	1083531	2,0	6,0	3,0	1777	4,316	3,051
25	1083531	6,0	3,0	1,6	529	2,403	1,467
26	1083531	6,0	3,0	1,6	1777	2,423	1,453
27	1083531	6,0	3,0	3,0	529	2,646	1,608
28	1083531	6,0	3,0	3,0	1777	2,661	1,606
29	1083531	6,0	6,0	1,6	529	4,560	2,838
30	1083531	6,0	6,0	1,6	1777	4,582	2,823
31	1083531	6,0	6,0	3,0	529	5,475	3,049
32	1083531	6,0	6,0	3,0	1777	5,516	3,022

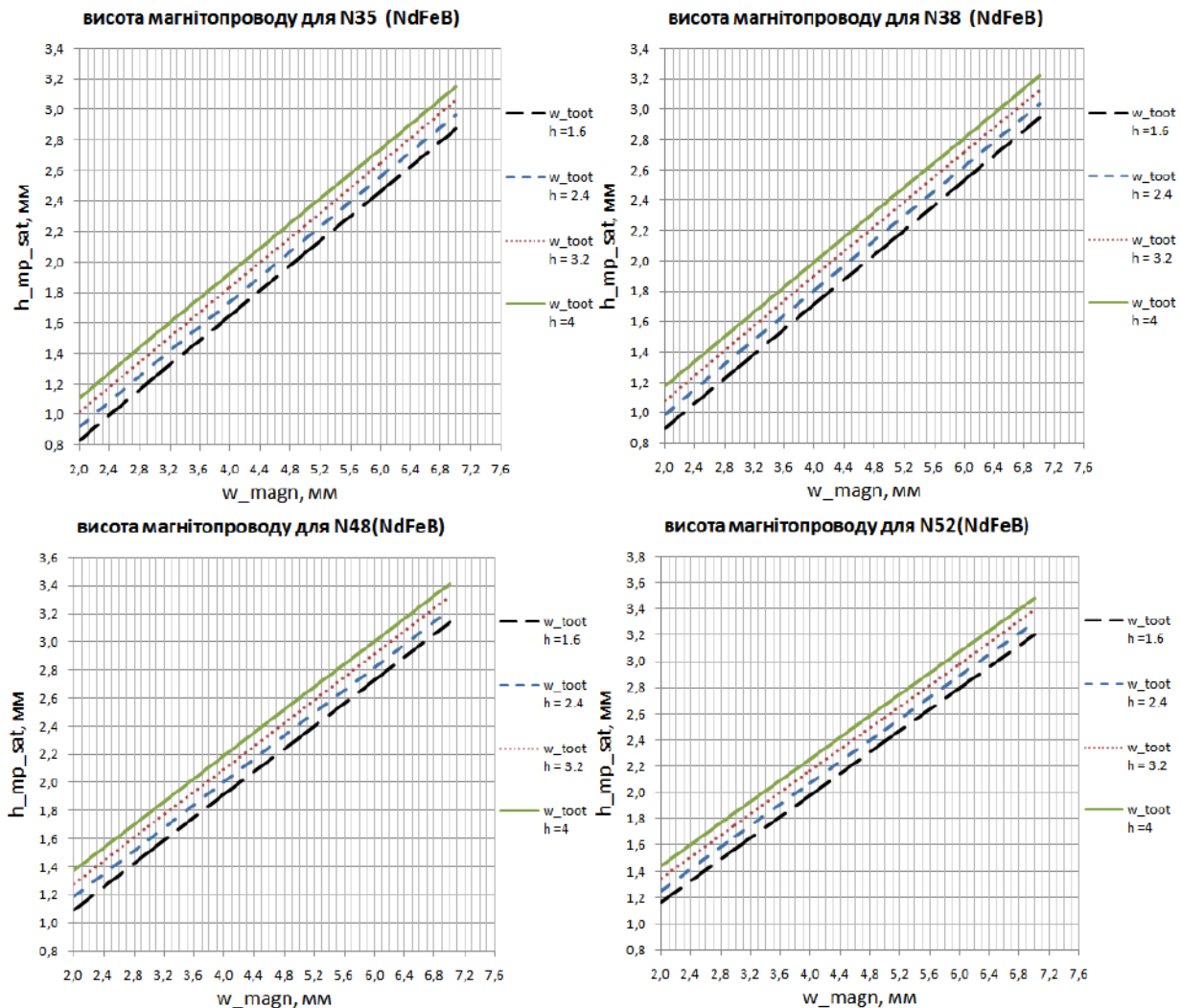


Рис. 8. Номограми для визначення раціональних розмірів перерізу магнітопроводу нового пристрою транспортування матеріалів швейної машини

Таблиця 4

Таблиця підбору раціональних значень розмірів перерізу магнітопроводу нового пристрою транспортування матеріалів швейної машини

		Клас магніту	$W_{tooth}, \text{MM}$			
			1,6	2,4	3,2	4
$W_{magn}, \text{MM}$	2,0	N35 (NdFeB)	0,8	0,9	1,0	1,1
	3,0		1,2	1,3	1,4	1,5
	4,0		1,6	1,7	1,8	1,9
	5,0		2,1	2,2	2,2	2,3
	6,0		2,5	2,6	2,7	2,7
	7,0		2,9	3,0	3,1	3,2
$W_{magn}, \text{MM}$	2,0	N38 (NdFeB)	0,9	1,0	1,1	1,2
	3,0		1,3	1,4	1,5	1,6
	4,0		1,7	1,8	1,9	2,0
	5,0		2,1	2,2	2,3	2,4
	6,0		2,5	2,6	2,7	2,8
	7,0		2,9	3,0	3,1	3,2
$W_{magn}, \text{MM}$	2,0	N48 (NdFeB)	1,1	1,2	1,3	1,4
	3,0		1,5	1,6	1,7	1,8
	4,0		1,9	2,0	2,1	2,2
	5,0		2,3	2,4	2,5	2,6
	6,0		2,7	2,8	2,9	3,0
	7,0		3,1	3,2	3,3	3,4
$W_{magn}, \text{MM}$	2,0	N52 (NdFeB)	1,2	1,3	1,3	1,4
	3,0		1,6	1,7	1,8	1,8
	4,0		2,0	2,1	2,2	2,3
	5,0		2,4	2,5	2,6	2,7
	6,0		2,8	2,9	3,0	3,1
	7,0		3,2	3,3	3,4	3,5

**Висновки.** На основі проведеного математичного експерименту та аналізу отриманих результатів визначено вплив конструктивних параметрів механізму переміщення матеріалів швейної машини на величину магнітної сили притиску. Показано, що зміна геометричних характеристик елементів верхнього транспортуючого органу, зокрема висоти магнітопроводу суттєво впливає на величину зусилля притискання при переміщенні матеріалу. Встановлено, що при певних значеннях конструктивних

параметрів система переходить у режим насичення, у якому подальша зміна розмірів окремих елементів не призводить до суттєвого підвищення ефективності роботи, що є важливим з точки зору раціонального проектування та зменшення масогабаритних показників механізму.

Розроблені аналітичні залежності та інженерні інструменти розрахунку дозволяють значно спростити процес проектування механізмів переміщення матеріалів і скоротити час їхньої оптимізації.

## Література

1. Щербань Ю. Наукові засади проектування швейних машин з регульованою пасадкою матеріалу: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.10. Київ, 2000. 411 с.
2. Коробченко Є. О., Горобець В. А., Крикун Є. Підвищення якості процесу переміщення матеріалу на швейних машинах. *Технології та інжиніринг*. 2024. Т. 3, № 20. С. 31–46.

## References

1. Shcherban, Yu. (2000). *Naukovi zasady proektuvannia shveinykh mashyn z rehulovanoi pasadkoiu materialu: dys. ... d-ra tekhn. nauk: 05.05.10* [Scientific principles of designing sewing machines with adjustable material feed]. Kyiv. 411 p. [in Ukrainian].
2. Korobchenko, Ye. O., Horobets, V. A., & Krykun, Ye. (2024). *Pidvyshchennia yakosti protsesu peremishchennia materialu na shveinykh mashynakh* [Improving the quality of the material movement process in sewing machines]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh – Technologies and Engineering*, 3(20), 31–46. [in Ukrainian].

3. Горобець В. А., Дворжак В. М. Розробка і синтез нового механізму транспорту швейної машини. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2018. Вип. 5. С. 33–39.
4. Горобець В. А., Маноїленко О. П. Проектування профілю робочої поверхні транспортуючих органів швейних машин. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2009. Т. 2, № 46. С. 7–9.
5. Faizur R. M. et al. Impact of modified feed mechanism on seam quality of garments. *Annals of the University of Oradea. Fascicle of Textiles, Leatherwork*. 2023. Vol. 24, Iss. 1. P. 89–96.
6. Селівончик І. С. Розробка транспортуючих органів швейних машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13. Київ, 1994. 173 с.
7. Robak D. A model of fabric transport in a sewing machine using a feed dog covered with a supple material of increased friction. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2002. Vol. 8, Iss. 3 (38).
8. Jucienė M., Vobolis J. Influence of fabric external friction force and certain parameters of a sewing machine upon stitch length. *PES*. 2004. Vol. 1. P. 100.
9. Коробченко Є. О., Горобець В. А. Розроблення нового способу переміщення матеріалів на швейній машині. *Синергія науки і бізнесу у повоєнному відновленні регіонів України: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (24–26 квітня 2024 року)*. Одеса: Олді+, 2024. С. 184–188.
10. Коробченко Є. О., Горобець В. А. Аналіз процесу переміщення матеріалу. *Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції*. Київ: Київський національний університет технологій та дизайну, 2024. С. 71–72.
11. Коробченко Є. О., Горобець В. А. Експериментальне визначення сили корисного опору переміщення матеріалів на швейній машині. *Наукові нотатки*. 2025. Вип. 82. С. 16–21.
12. Meeker D. Finite Element Method Magnetics. URL: <https://www.femm.info/wiki/Documentation> (дата звернення: 10.08.2025).
13. Васьковський Ю. М., Гайденок Ю. А., Цивінський С. С. Використання комп'ютерних систем математичних розрахунків MATLAB та FEMM для аналізу електричних машин: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.
3. Horobets, V. A., & Dvorzhak, V. M. (2018). Rozrobka i synteza novoho mekhanizmu transportu shveinoi mashyny [Development and synthesis of a new transport mechanism for a sewing machine]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Seriya: Tekhnichni nauky – Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Series: Technical Sciences*, 5, 33–39 [in Ukrainian].
4. Horobets, V. A., & Manoilenko, O. P. (2009). Proektuvannia profilu robochoi poverkhni transportuiuchykh orhaniv shveinykh mashyn [Design of the working surface profile of the transporting organs of sewing machines]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*, 2(46), 7–9 [in Ukrainian].
5. Faizur, R. M. et al. (2023). Impact of modified feed mechanism on seam quality of garments. *Annals of the University of Oradea. Fascicle of Textiles, Leatherwork*, 24(1), 89–96.
6. Selivonchik, I. S. (1994). Rozrobka transportuiuchykh orhaniv shveinykh mashyn: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.02.13 [Development of transporting organs of sewing machines]. Kyiv. 173 p. [in Ukrainian].
7. Robak, D. (2002). A model of fabric transport in a sewing machine using a feed dog covered with a supple material of increased friction. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 8(3(38)).
8. Jucienė, M., & Vobolis, J. (2004). Influence of fabric external friction force and certain parameters of a sewing machine upon stitch length. *PES*, 1, 100.
9. Korobchenko, Ye. O., & Horobets, V. A. (2024). Rozroblennia novoho sposobu peremishchennia materialiv na shveinii mashyni [Development of a new method of material feed on a sewing machine]. *Synerhiia nauky i biznesu u povoiennomu vidnovlenni rehioniv Ukrainy: materialy II Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (24–26 kvitnia 2024 roku)* (pp. 184–188). Odessa: Oldi+ [in Ukrainian].
10. Korobchenko, Ye. O., & Horobets, V. A. (2024). Analiz protsesu peremishchennia materialu [Analysis of the material feed process]. *Mekhatronni systemy: innovatsii ta inzhynirynh : tezy dopovidei VIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (pp. 71–72). Kyiv: Kyivskiy natsionalnyi universytet tekhnolohii ta dyzainu [in Ukrainian].
11. Korobchenko, Ye. O., & Horobets, V. A. (2025). Eksperymentalne vyznachennia syly korisnoho oporu peremishchennia materialiv na shveinii mashyni [Experimental determination of the useful resistance force of material movement on a sewing machine]. *Naukovi notatky – Scientific Notes*, 82, 16–21 [in Ukrainian].
12. Meeker, D. (n.d.). Finite Element Method Magnetics: dokumentatsiia [Finite Element Method Magnetics: documentation]. URL: <https://www.femm.info/wiki/Documentation> (accessed on: 10.08.2025).
13. Vaškovskiy, Yu. M., Haidenko, Yu. A., & Tsyvinskyi, S. S. (2022). Vykorystannia kompiuternykh system matematychnykh rozrakhunkiv MATLAB ta FEMM dlia analizu elektrychnykh mashyn: navch. posib. [Use of computer systems of mathematical calculations MATLAB and FEMM for the analysis of electrical machines]. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho [in Ukrainian].

## ІНДУСТРІЯ МОДИ

Комп'ютерний набір та макетування КРИВОНОС Олена  
Відповідальний редактор РЕДЬКО Яна  
Відповідальний за поліграфічне виконання ОВЕЧКІНА Лілія

Підп. до друку 09.04.2026. Формат 60×84 1/8.  
Ум. друк. арк. 7,9. Облік. вид. арк. 6,18. 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 КВ №23909-13749Р від 19.04.2019 р.

Журнал зареєстровано як суб'єкт у сфері друкованих медіа – ідентифікатор R30-07201  
(Рішення Національної Ради від 09.04.2024 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 09.04.2026. Format 60×84 1/8.  
Conditional sheet 7.9. Calculated sheet 6.18. Circulation 100 copies. Order N \_\_\_\_.

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

Certificate KB №23909-13749Р від 19.04.2019 р.

Print media identifier R30-07201, 09.04.2026.

Certificate ДК № 993, 24.07.2002.