

ІЩУК ТЕТЯНА

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0009-0009-8679-9020>e-mail: ishchuk.tetiana@khmnu.edu.ua**ІВАНІШЕНА ТЕТЯНА**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-3206-9307>e-mail: ivanishenat@khmnu.edu.ua

НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ У ЛЕГКІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ

Зростання текстильного виробництва призводить до збільшення відходів, створюючи значний тиск на природні ресурси та екосистеми. Залежність від первинної сировини, такої як бавовна, вовна та поліестер, сприяє виснаженню ресурсів і збільшенню викидів вуглекислого газу. Навпаки, вторинна сировина, включаючи перероблені пластикові пляшки, текстильні відходи та паперові волокна, пропонує альтернативне рішення для зменшення впливу на навколишнє середовище шляхом мінімізації відходів і залежності від невідновлюваних ресурсів.

У роботі проаналізовано динаміку та основні напрямки досліджень щодо використання вторинної сировини в легкій промисловості. Огляд наукових публікацій у базі даних Scopus показав, що найбільша кількість публікацій присвячена вторинній сировині в індустрії моди, що свідчить про зростання інтересу до практики переробки в цьому контексті. Пошуковий термін «перероблений папір» ТА «текстиль» склав 77,1% усіх пов'язаних пошукових запитів, показуючи його важливість як екологічно чистого матеріалу в текстильному виробництві.

Використання перероблених матеріалів задовольняє принципам циркулярної економіки, підвищує ефективність використання ресурсів і зменшує екологічний слід легкої промисловості. Перероблена сировина включає перероблені ПЕТ-пляшки, бавовняні волокна та шкіру, кожне з яких сприяє певним унікальним перевагам, а також і викликам при використанні у виробничих процесах. Перехід на вторинну сировину не тільки вирішує екологічні проблеми, але й узгоджується з глобальними зусиллями щодо скорочення використання ресурсів і утворення відходів.

Ключові слова: вторинна полімерна сировина, легка промисловість, переробка відходів, принципи циркулярної економіки.

ISHCHUK TETIANA, IVANISHENA TETIANA

Khmelnitskyi National University

DIRECTIONS OF USE OF SECONDARY RAW MATERIALS IN LIGHT INDUSTRY

The growth of textile production leads to an increase in waste, putting significant pressure on natural resources and ecosystems. The dependence on primary raw materials such as cotton, wool and polyester contributes to resource depletion and increased carbon dioxide emissions. In contrast, secondary raw materials, including recycled plastic bottles, textile waste and paper fibers, offer a promising solution to reduce environmental impact by minimizing waste and dependence on non-renewable resources.

This paper analyzes the dynamics and main research directions of the use of secondary raw materials in light industry. A review of scientific publications in the Scopus database showed that the largest number of publications is devoted to secondary raw materials in the fashion industry, which indicates a growing interest in recycling practices in this context. The search term “recycled paper” AND “textile” accounted for 77.1% of all related searches, demonstrating its importance as an environmentally friendly material in textile manufacturing. It is noted that recycled cotton fibers are provided by mechanical or chemical processing of textile waste, such as worn clothing and home textiles. The fibers provided are classified according to the source of raw materials: pre-consumer (production residues) and post-consumer (waste textiles).

The use of recycled materials promotes the principles of a circular economy, increases resource efficiency, and reduces the environmental footprint of light industry. Recycled raw materials include recycled PET bottles, cotton fibers, and leather, each of which offers unique benefits and challenges for incorporation into manufacturing processes. The transition to recycled raw materials not only addresses environmental concerns, but also aligns with global efforts to reduce resource use and waste generation.

Keywords: secondary raw materials, light industry, waste processing, principles of circular economy.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Проблема використання первинної сировини у легкій промисловості є однією з ключових у контексті сучасних екологічних викликів. Зростання обсягів текстильного виробництва супроводжується збільшенням відходів, що спричиняє значний тиск на природні ресурси та екосистеми. Використання первинної сировини, зокрема бавовни, вовни, поліестеру, веде до виснаження природних ресурсів і збільшення викидів діоксиду вуглецю. Натомість вторинна сировина, як-от перероблені пластикові пляшки, текстильні відходи або паперові волокна, забезпечує можливість зменшення екологічного впливу, знижуючи кількість відходів і використання невідновлюваних ресурсів.

Аналіз досліджень та публікацій

Вивченню питань використання вторинної сировини у легкій промисловості присвятили свої дослідження такі автори, як О.Синюк, R. Remeikiene, G.M. Carrusci, A. Majumdar, Y. Korapan та інші. Їх роботи зосереджені на аналізі властивостей матеріалів, виготовлених із вторинної (переробленої) сировини, та оцінці впливу таких матеріалів на виробничі процеси. Основними аспектами досліджень є

детальний опис напрямків використання вторинної сировини у легкій промисловості.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є аналіз сучасних тенденцій та напрямків використання вторинної сировини у легкій промисловості, зокрема текстильній, оцінка перспектив її застосування.

Виклад основного матеріалу

Зростаючі обсяги використання первинної сировини для виготовлення текстильних матеріалів створюють перешкоди для досягнення цілей сталого розвитку, зокрема у сферах відповідального споживання, виробництва (Ціль 12) та збереження екосистем (Ціль 14,15). Логічним рішенням є перехід до використання вторинної сировини, що дозволяє зберегти природні ресурси.

Здійснено аналіз наукових публікацій у базі даних Scopus. Такий аналіз дозволив виявити динаміку і ключові тенденції у дослідженнях, присвячених використанню вторинної сировини у легкій промисловості. Виділено три пошукові запити, які відображають різні аспекти теми: "primary raw materials" AND "textile industry", "secondary raw materials" AND "fashion industry", "recycled materials" AND "light industry".

Запит "Primary raw materials" AND "textile industry" представлений 18 публікаціями, що відображає традиційний підхід до аналізу первинної сировини, зокрема бавовни, вовни та поліестеру. У той час як первинна сировина залишається важливим предметом аналізу, найбільшу кількість публікацій (27) виявлено за запитом "Secondary raw materials" AND "fashion industry", що свідчить про зростаючий інтерес до повторної переробки матеріалів у контексті модної індустрії. Третій запит "Recycled materials" AND "light industry" демонструє 25 публікацій і охоплює ширший спектр використання вторинної сировини у легкій промисловості.

Графічне представлення отриманих результатів показує зростаючий інтерес до тематики вторинної сировини і є показником глобального переорієнтування на сталі виробничі практики, що обумовлено як екологічними викликами, так і потребою адаптувати виробництво до змін у поведінці споживачів (рис.1).

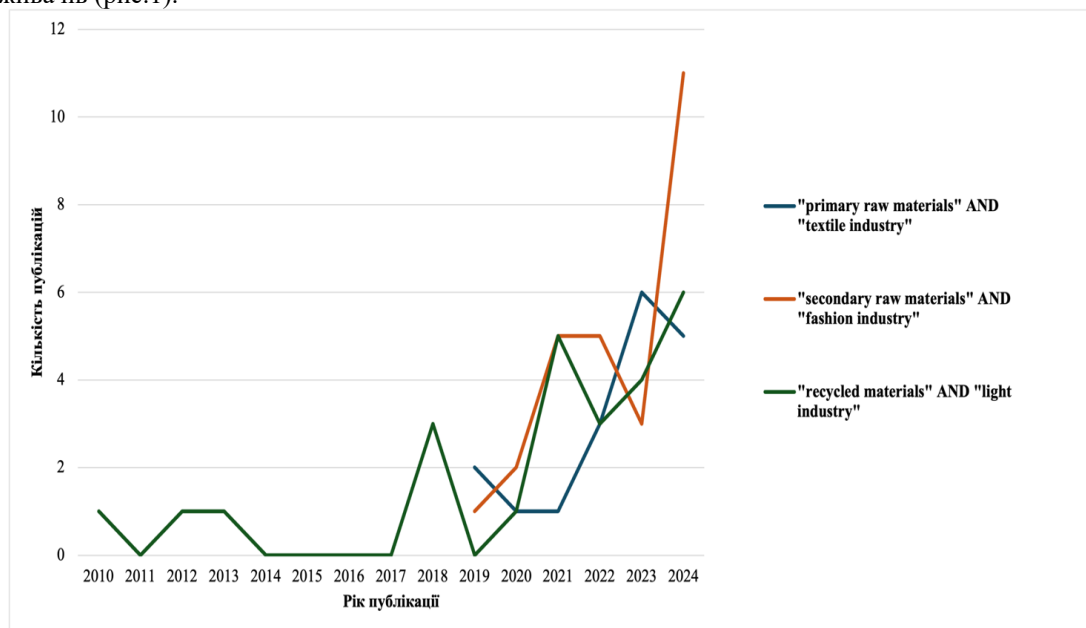


Рис. 1. Аналіз наукових публікацій у базі даних Scopus (за обраними запитам)

У результаті проведеного аналізу наукових статей у базі даних Scopus щодо використання вторинної сировини у легкій промисловості було визначено п'ять пошукових запитів:

- "Recycled PET bottles" AND "textile" – 204 публікації (11,7%);
- "Recycled cotton fibers" AND "textile" – 178 публікацій (10,2%);
- "Recycled leather" AND "textile" – 15 публікацій (0,86%);
- "Recycled paper" AND "textile" – 1348 публікацій (77,1%);
- "Recycled rubber from used tires" AND "textile" – 4 публікації (0,23%)

Аналіз показав, що напрямок із використання переробленого паперу у текстильному виробництві має найбільшу кількість наукових публікацій, що становить 77,1% від загальної вибірки (рис.2).

Значно менше уваги приділяється іншим напрямкам, таким як переробка ПЕТ-пляшок (11,7%) і вторинних бавовняних волокон (10,2%) (рис.3). Водночас використання вторинної гуми та переробленої шкіри досліджено найменшою мірою.

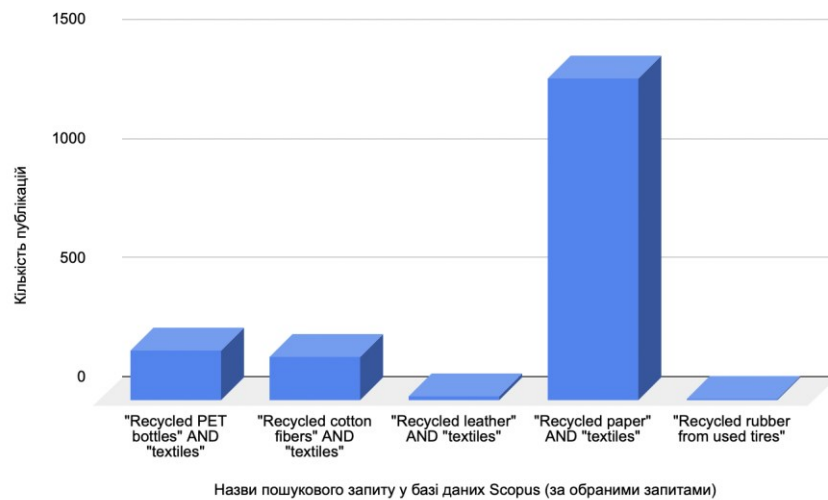


Рис. 2. Кількість наукових публікацій за напрямками переробки вторинних матеріалів у текстильному виробництві (дані Scopus)

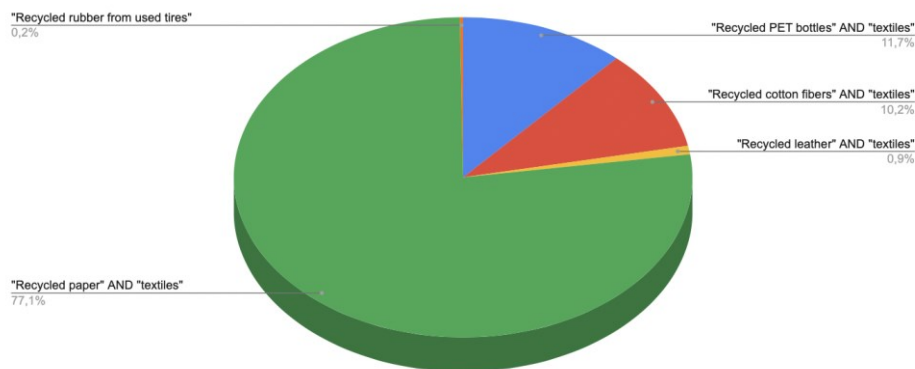


Рис. 3. Розподіл різних напрямків переробки матеріалів у текстильній галузі

У науковій літературі бракує систематичних порівнянь властивостей виробів з первинної та вторинної сировини. Вторинна сировина - це перероблена сировина, отримана з відходів, тоді як первинна сировина видобувається безпосередньо з природних ресурсів, що виснажує природні ресурси та спричиняє негативний вплив на довкілля [1]. У легкій промисловості вторинна сировина, така як перероблена пластмаса та текстиль, сприяє стійкості, зменшуючи залежність від невідновлюваних ресурсів та мінімізуючи відходи [2]. Використання вторинних матеріалів сприяє практикам циркулярної економіки, підвищуючи конкурентоспроможність та ефективність використання ресурсів [1]. Навпаки, первинні матеріали часто мають значний вплив на навколишнє середовище через видобуток та переробку, що робить вторинні матеріали більш стійким вибором [3]. Основними видами вторинної сировини для легкої промисловості є текстильні відходи, які утворюються як залишки виробництва або зношений одяг для повторного виготовлення текстильних матеріалів, що сприяє формуванню замкнутого циклу виробництва [4]. Пластикові пляшки є важливим джерелом сировини для створення поліефірного волокна, таких як поліестер, який широко застосовується в текстильній галузі. Перероблене поліефірне волокно, виготовлене з пластикових пляшок, має нижчу кристалічність та міцність на розрив порівняно з первинним поліестером, при цьому жорсткість тканини збільшується на 24-44% по зсуву та 9-26% по вигину, що робить тканину менш гнучкою та більш жорсткою [5]. Також використовуються зношені натуральні матеріали, такі як бавовна та вовна, що піддаються рециклінгу, та композитні відходи, які складаються зі змішаних полімерів і текстилю, і слугують базою для інноваційних матеріалів [6].

Перероблені пластикові пляшки ПЕТ (поліетилентерефталат) використовуються для виготовлення текстильних волокон, зокрема спортивного одягу. Завдяки механічній переробці пластикових пляшок до 85% вихідного матеріалу можна використовувати повторно, забезпечуючи ефективну утилізацію [7]. Властивості цих волокон включають зменшення міцності на 27%, проте вони зберігають повітропроникність і демонструють збільшення жорсткості тканини на 15%, що робить їх ідеальними для спортивного одягу [7]. Під час виробництва волокон контрольовані умови, такі як вологість сировини (0,01-0,02%) і температура плавлення (270-300°C), забезпечують високу якість кінцевого продукту [7].

Вторинні бавовняні волокна забезпечуються шляхом механічної або хімічної переробки відходів текстилю, таких як зношений одяг та домашній текстиль. Подані волокна класифікуються за джерелом сировини: перед споживчі (залишки виробництва) та після споживчі (відпрацьований текстиль).

Механічна переробка призводить до зменшення довжини волокон і зниження їх міцності, через що тканини із вторинних волокон включають лише 20–30% переробленого матеріалу, щоб зберегти прийнятну якість. Однак така вторинна сировина має важливу перевагу — зменшення екологічного впливу за рахунок повторного використання ресурсів і зниження обсягу текстильних відходів. Порівняно з первинними бавовняними волокнами, вторинні мають меншу міцність і м'якість, але можуть бути використані у виробництві екологічного текстилю для одягу та побутових товарів, наприклад, декоративних тканин, сумок чи покривал [8].

Перероблений шкіряний матеріал використовується для нових сумок, взуття, тощо. У рамках дослідження [9] виготовлено 8 сумок із переробленого шкіряного матеріалу, використовуючи кольорові відходи шкіри Нарра (шкіри, яка отримана з уже пофарбованої шкіри, підданої малоабразивному шліфуванню з лицьового боку) товщиною 1,5–2 мм. Метод тесселяції, який забезпечує безвідходне виробництво, дозволив створити вироби, що поєднують екологічність і економічність, сприяючи зменшенню промислових відходів [9].

Для створення тканин із відходів паперу в дослідженні використовували методи розчинення целюлози в іонних рідинах. Після поступової очистки паперу та картону вдалося отримати волокна з міцністю до 750 МПа та діаметром у межах 10–13 мкм. Процес включав етапи видалення лігніну та геміцелюлоз до 16% і 20% відповідно. Утворені тканини мали знижену міцність у вологому стані на 10–15% порівняно з сухим. Завдяки помірним температурам обробки (70–80 °C) вдалося уникнути значної деградації целюлози [10].

Використана гума від шин є цінною вторинною сировиною для створення високоякісних матеріалів, зокрема підшв для взуття. Згідно з дослідженнями, подрібнення шин на частинки розміром 0,5–2 мм дозволяє отримати однорідну основу для змішування з полімерними модифікаторами, частка яких може становити до 30%. Ця технологія забезпечує отримання композиту з високою міцністю, здатного витримувати навантаження до 20 МПа, що відповідає вимогам до експлуатації взуттєвих підшв. Виробничий процес здійснюється при температурі 180–200°C, що сприяє збереженню еластичності матеріалу без значної деградації. Завдяки стійкості до зносу та тривалому терміну служби, отриманий матеріал є екологічною та економічно ефективною альтернативою для взуттєвої промисловості [11].

Таким чином, використання вище згаданих матеріалів у якості вторинної сировини є досить поширеним у легкій промисловості (рис.4).

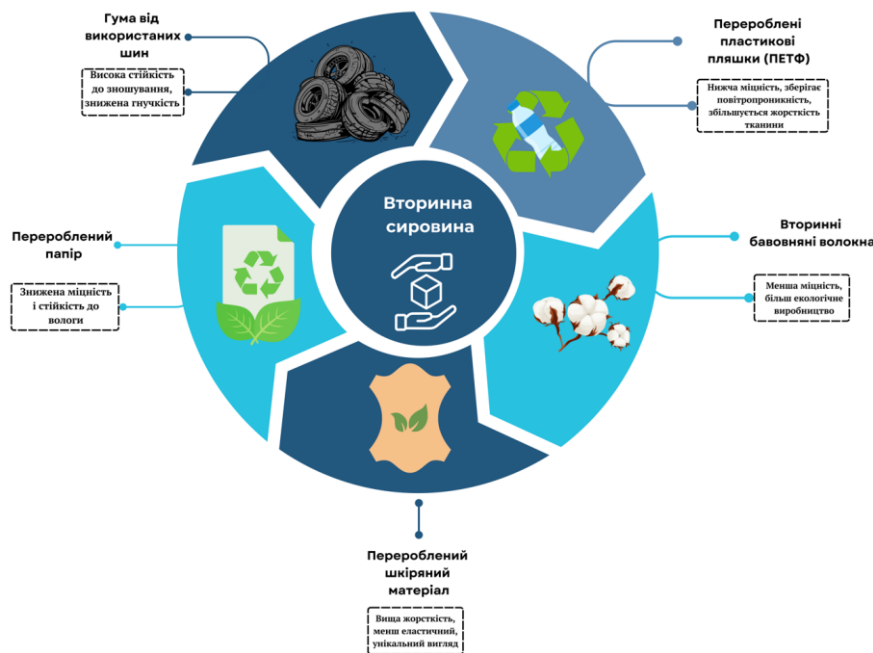


Рис. 4. Напрямки використання вторинної сировини у легкій промисловості

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Результати дослідження свідчать про актуальність переходу до використання вторинної сировини у легкій промисловості для вирішення сучасних екологічних викликів. Аналіз наукових публікацій показав, що значний інтерес викликає вторинна сировина, така як перероблені паперові волокна, пластикові пляшки та текстильні відходи. Використання цих матеріалів сприяє досягненню цілей сталого розвитку, зокрема скороченню відходів та зменшенню викидів парникових газів. Найбільш перспективний напрямок - переробка паперу та пластикових пляшок для отримання поліефірних волокон. Спостерігається зростаючий інтерес до використання вторинних бавовняних волокон та

шкіряних матеріалів у виробництві екологічного текстилю та аксесуарів.

Практичне впровадження вторинної сировини дозволяє зменшити залежність від первинних матеріалів, підвищити конкурентоспроможність підприємств. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення технологій переробки та підвищення якості виробів із вторинної сировини, а також на розробку державної політики, що стимулюватиме впровадження природоохоронних хімічних технологій синтезу нових матеріалів для забезпечення реалізації принципів циркулярної економіки.

Література

1. Secondary Raw Materials in the Circular Economy: A Multi-Perspective Study / Remeikienė R. та ін. ; за ред. Rita Remeikienė. — Kraków: Krakow University of Economics, 2024. — 151 с.
2. Теоретичні засади та практична реалізація комплексної переробки полімермістких відходів у виробі легкої промисловості : монографія / О. М. Синюк, Т. В. Іванішена, С. Г. Кулешова, Т. А. Надопта, С. Л. Горьашченко. — Хмельницький : ХНУ, 2023. — 222 с.
3. Cappucci G. M., et al. Environmental life cycle assessment of the recycling processes of waste plastics recovered by landfill mining // *Waste Management*. — 2020. — № 118. — С. 68–78.
4. Suen D. W., et al. Sustainable Textile Raw Materials: Review on Bioprocessing of Textile Waste via Electrospinning // *Sustainability*. — 2023. — № 15. — DOI: 10.3390/su151511638.
5. Majumdar A., et al. Circular fashion: Properties of fabrics made from mechanically recycled polyethylene terephthalate (PET) bottles // *Resources, Conservation and Recycling*. — 2020. — № 161. — С. 104915.
6. Patti A., Cicala G., Acierio D. Eco-Sustainability of the Textile Production: Waste Recovery and Current Recycling in the Composites World // *Polymers*. — 2020. — № 13. — С. 26.
7. Guru R., Kumar A., Grewal D. The recycling and reuses plastic bottles to fibre process and applications // *Man-Made Textiles in India*. — 2022. — № L. — С. 162–166.
8. Cao H., et al. Textile and Product Development from End-of-Use Cotton Apparel: A Study to Reclaim Value from Waste // *Sustainability*. — 2022. — № 14. — DOI: 10.3390/su14148553.
9. Koparan Y., Harmankaya H. Examples of Bag Design from Waste Leather Parts as Material within the Scope of Sustainability // *Sanat ve Tasarım Dergisi*. — 2023. — № 14. — С. 123–146.
10. Ma Y., Hummel M., Määttänen M., Särkilähti A., Harlin A., Sixta H. Upcycling of waste paper and cardboard to textiles // *Green Chemistry*. — 2016. — Issue 3. — С. 858–866. — DOI: <https://doi.org/10.1039/C5GC01679G>.
11. Patent China CN 101665007 A, IPC C08L 75/06, C08L 23/08, C08L 29/10. Method for producing polymer materials using recycled materials / applicant: Xiamen Xinyu Environmental Technology Co., Ltd. — China, 2010. — 10 с. — Application No. CN200910069341.4; published on 02.06.2010.

References

1. Secondary Raw Materials in the Circular Economy: A Multi-Perspective Study / Remeikienė R. et al.; edited by Rita Remeikienė. — Kraków: Krakow University of Economics, 2024. — 151 p.
2. Theoretical Foundations and Practical Implementation of Comprehensive Processing of Polymer-Containing Waste into Light Industry Products: Monograph / O. M. Sinyuk, T. V. Ivanishena, S. G. Kuleshova, T. A. Nadopta, S. L. Goryashchenko. — Khmelnytskyi: KhNU, 2023. — 222 p.
3. Cappucci G. M., et al. Environmental life cycle assessment of the recycling processes of waste plastics recovered by landfill mining // *Waste Management*. — 2020. — No. 118. — P. 68–78.
4. Suen D. W., et al. Sustainable Textile Raw Materials: Review on Bioprocessing of Textile Waste via Electrospinning // *Sustainability*. — 2023. — No. 15. — DOI: 10.3390/su151511638.
5. Majumdar A., et al. Circular fashion: Properties of fabrics made from mechanically recycled poly-ethylene terephthalate (PET) bottles // *Resources, Conservation and Recycling*. — 2020. — No. 161. — P. 104915.
6. Patti A., Cicala G., Acierio D. Eco-Sustainability of the Textile Production: Waste Recovery and Current Recycling in the Composites World // *Polymers*. — 2020. — No. 13. — P. 26.
7. Guru R., Kumar A., Grewal D. The recycling and reuse of plastic bottles into fiber: Process and applications // *Man-Made Textiles in India*. — 2022. — No. L. — P. 162–166.
8. Cao H., et al. Textile and Product Development from End-of-Use Cotton Apparel: A Study to Reclaim Value from Waste // *Sustainability*. — 2022. — No. 14. — DOI: 10.3390/su14148553.
9. Koparan Y., Harmankaya H. Examples of Bag Design from Waste Leather Parts as Material within the Scope of Sustainability // *Sanat ve Tasarım Dergisi*. — 2023. — No. 14. — P. 123–146.
10. Ma Y., Hummel M., Määttänen M., Särkilähti A., Harlin A., Sixta H. Upcycling of waste paper and cardboard to textiles // *Green Chemistry*. — 2016. — Issue 3. — P. 858–866. — DOI: <https://doi.org/10.1039/C5GC01679G>.
11. Patent China CN 101665007 A, IPC C08L 75/06, C08L 23/08, C08L 29/10. Method for producing polymer materials using recycled materials / applicant: Xiamen Xinyu Environmental Technology Co., Ltd. — China, 2010. — 10 p. — Application No. CN200910069341.4; published on 02.06.2010.