

ХАСАНОВА ОКСАНА

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0009-0009-4481-873X>e-mail: khasanovao@khmnu.edu.ua**ЗАХАРКЕВИЧ ОКСАНА**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6542-9727>e-mail: zakharkevych@khmnu.edu.ua**АНАЛІЗ ТА СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ДАНИХ ПРО СМАРТ-ТЕКСТИЛЬ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТАНЦЮВАЛЬНОГО ОДЯГУ З ВИКОРИСТАННЯМ СТРУМОПРОВІДНОЇ НИТКИ**

У статті проведено всебічний аналіз наукових джерел, що охоплює 43 публікації, присвячені електронному текстилю. Встановлено, що 23,26% робіт зосереджені на розробці струмопровідних ниток, 20,93% присвячені вивченню конструктивних параметрів вишивки, 18,6% розглядають моніторингові системи для здоров'я, по 11,63% фокусуються на стійкості провідникових властивостей до зовнішніх впливів та на питаннях енергозабезпечення. Менш дослідженими є напрями, пов'язані з нагрівальними елементами (4,65%), антивібраційними рукавичками, 3D-друком, сценічним костюмом, аналізом зразків смарт-одягу (по 2,33%).

Контент-аналіз онлайн-ресурсів і соціальних мереж засвідчив, що 51,85% результатів пошуку за ключовими словами «смарт-одяг», «струмопровідна нитка» ведуть до онлайн-магазинів, 48,15% – до інформаційних ресурсів. У соціальних мережах 72,22% відео стосуються танцювального одягу з LED-елементами, 27,78% відео-публікацій стосуються ручного з'єднання нитки зі світлодіодом. В соціальній мережі Instagram виявлено широкий спектр візуального контенту: вироби зі світловими ефектами (52%), знімні світлові крила (8%), вироби із тканини з термоактивними змінами форми (6%). Крім того, по 2% складають публікації, які містять матеріали з реакцією на світло, ультрафіолет (УФ), температуру, рух.

У наукових публікаціях найчастіше згадується струмопровідна нитка Silver-tech (AMANN, Німеччина) – 21,87%, далі Madeira (Велика Британія) – 15,63%, Shieldex і Bekinox – по 6,25%, Soitex і Qingdao Hengtong – по 3,12%, Marktek Inc. (США) – 3,12%. Обґрунтовано вибір нитки Silver-tech для подальших досліджень з огляду на її популярність у наукових роботах та наявність на українському ринку. Виявлено інформаційний розрив між наукою та практикою популяризації, що актуалізує потребу в систематизації знань для ефективного проектування смарт-одягу сценічного призначення.

Для вирішення цієї проблеми було розроблено базу даних інформаційних ресурсів, присвячених інтелектуальному текстилю. Вона класифікує та об'єднує дані з різних джерел і призначена для інтеграції в навчальний процес студентів спеціальності «Технології легкої промисловості». Виступаючи візуальним та аналітичним інструментом, база даних поєднує наукову теорію та комерційну практику, дозволяючи студентам розробляти власні проекти та обґрунтовувати вибір матеріалів і технологій на основі структурованої інформації. Як відкритий ресурс, вона може постійно оновлюватися, формуючи основу для систем підтримки рішень у сфері проектування смарт-одягу.

Ключові слова: смарт-одяг, електронний текстиль, струмопровідні нитки, текстильні сенсори, носимі технології, біометричний моніторинг, гнучка електроніка, база даних.

OXSANA KHASANOVA**OXSANA ZAKHARKEVICH**

Khmelnitskyi National University

ANALYSIS AND SYSTEMATIZATION OF SMART TEXTILES DATA FOR THE DEVELOPMENT OF DANCE CLOTHING USING CONDUCTIVE THREAD

This article presents a comprehensive analysis of 43 scientific publications dedicated to electronic textiles. The findings reveal that 23.26% of the studies focus on the development of conductive threads, 20.93% examine the structural parameters of embroidery, and 18.6% address health monitoring systems. A further 11.63% of publications each consider the durability of conductive properties under external influences and power supply solutions. Less explored areas include heating elements (4.65%), anti-vibration gloves, 3D printing, stage costumes, and case studies of smart clothing samples (2.33% each).

A content analysis of online resources and social media demonstrated that 51.85% of search results for the keywords "smart clothing" and "conductive thread" direct users to online stores, while 48.15% lead to informational resources. On social platforms, 72.22% of videos are dedicated to dance costumes with LED elements, whereas 27.78% demonstrate manual techniques for connecting threads with LEDs. On Instagram, a wide variety of visual content was identified: garments with light effects (52%), detachable illuminated wings (8%), and fabrics with thermoactive shape-changing properties (6%). Additionally, around 2% of posts present materials responsive to light, ultraviolet (UV), temperature, and movement.

Within scientific publications, the most frequently cited conductive thread is Silver-tech (AMANN, Germany) – 21.87%, followed by Madeira (UK) – 15.63%. Shieldex and Bekinox are referenced in 6.25% of cases each, while Soitex, Qingdao Hengtong, and Marktek Inc. (USA) are each mentioned in 3.12% of publications. The selection of Silver-tech for further research is justified by its widespread use in academic studies and its availability on the Ukrainian market. The analysis also revealed an informational gap between academic research and the practical promotion of knowledge, underscoring the need for systematization to support the effective design of stage-oriented smart clothing.

To address this, a dedicated database of informational resources on intelligent textiles has been developed. It classifies and consolidates data from diverse sources and is designed for integration into the educational process of students specializing in "Light Industry Technologies." Serving as a visual and analytical tool, the database bridges scientific theory and commercial practice, enabling students to develop analytical skills, design their own projects, and justify material and technology choices based on structured information. As an open resource, it can be continuously updated, forming a foundation for decision-support systems in smart clothing design. Its application in both research and teaching provides a basis for developing practical guidelines for stage costume design with integrated light effects.

Keywords: smart clothing, electronic textiles, conductive threads, textile sensors, wearable technology, biometric monitoring, flexible electronics, database

Стаття надійшла до редакції / Received 24.08.2025

Прийнята до друку / Accepted 15.09.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сучасний розвиток носимих технологій спрямований на створення інноваційних рішень, що інтегрують електроніку безпосередньо в текстильні матеріали. Смарт-одяг (розумний одяг) є одним із найперспективніших напрямів у цій сфері, адже поєднує традиційний текстиль із передовими електронними компонентами, відкриваючи нові можливості для медицини, спорту, безпеки, біомоніторингу та моди.

Однак, попри значний прогрес, існує низка наукових і технологічних викликів, які стримують широкомасштабне впровадження смарт-одягу. Основними проблемами є: оптимізація матеріалів, необхідність розробки легких, гнучких, довговічних і водостійких струмопровідних матеріалів; стабільність електропровідності, а саме збереження провідних властивостей після численних циклів прання та механічного впливу; методи інтеграції електроніки, тобто удосконалення технологій вишивки, друкованої електроніки та адитивного виробництва для підвищення ефективності роботи текстильних сенсорів; екологічність – розробка стійких до зношування та безпечних для довкілля електропровідних матеріалів. Дослідження в цій сфері сприяють розробці нових матеріалів та технологій, що наближають смарт-одяг до масового впровадження у повсякденне життя та промислове виробництво.

Унікальний контекст для такого дослідження створює розумний одяг, призначений для танцювальних виступів, оскільки він є одночасно виробом мистецтва і елементом повсякденного життя. Ця сфера ставить перед розробниками подвійний виклик: по-перше, забезпечити високу надійність і довговічність електронних компонентів в умовах інтенсивних механічних навантажень та частих прань, що є критичним для вирішення проблем оптимізації матеріалів та стабільності електропровідності. По-друге, інтегрувати технології таким чином, щоб вони не порушували естетику та свободу рухів танцюриста. Тому танцювальний одяг з елементами смарт-одягу є ідеальним тестовим майданчиком для розробки рішень, які поєднують функціональність, естетику, зносостійкість і комфорт, що в подальшому може бути масштабовано для широкого впровадження смарт-одягу в інші сфери життя де важлива надійність, наприклад, у біомоніторингу чи спортивній екіпіровці. Крім того, такий одяг вимагає розробки методів інтеграції електроніки, які є непомітними, гнучкими та не обмежують пластики рухів. Тому дослідження в цій галузі є важливими для створення інновацій, що балансують між технологічною досконалістю та художньою виразністю.

Для створення розумного одягу, призначеного для танцювальних виступів, доцільно використовувати еластичніші струмопровідні матеріали, ніж традиційні дрони. Це зумовлено необхідністю забезпечення гнучкості електронних схем, які повинні залишатися цілісними та працездатними під час динамічних рухів виконавця. У цьому контексті найбільш ефективним рішенням є застосування електропровідних ниток або тканин, які поєднують здатність до передачі електричного струму з високою гнучкістю та стійкістю до механічних деформацій.

Сучасні дослідження зосереджуються переважно на вдосконаленні струмопровідних ниток і матеріалів [1-6, 8, 10, 21, 26], вивченні їх фізико-хімічних властивостей та інтеграції в систему моніторингу стану здоров'я та фізіологічних показників, насамперед у спортивному середовищі. У розглянутих наукових джерелах немає чітко прописаної технології виготовлення танцювального смарт-одягу із використанням струмопровідної нитки або матеріалу. Це обґрунтовує доцільність проведення досліджень, спрямованих на розробку технологій масового виготовлення смарт-одягу для танців з використанням струмопровідних матеріалів.

Аналіз досліджень та публікацій

Ефективна інтеграція електронних елементів у текстильні вироби вимагає розробки струмопровідних ниток із високою стабільністю електричних характеристик, гнучкістю та стійкістю до механічного впливу. Однією з перспективних розробок є електропровідні целюлозні нитки з покриттям PEDOT:PSS і нанодротоми срібла, що зберігають м'якість і комфорт текстилю, але водночас забезпечують високий рівень електропровідності [1]. Існує також підхід до створення струмопровідних текстильних ниток із високоомними електричними опорами (1–1000 кОм/м) на основі полімерного покриття з провідними добавками, що дозволяє застосовувати їх для нагрівальних поверхонь та інтеграції в автомобільні сидіння [2]. Дослідження підтверджують, що використання нанодротів срібла

(AgNWs) у полімерних композитах підвищує електричну провідність і забезпечує високу термічну стабільність [3, 4]. В іншому дослідженні розроблено метод виготовлення провідних шовкових ниток з покриттям із нанодротів срібла та композиту PEDOT:PSS, що поєднує високу електропровідність (~320 См/см) з відмінною зносостійкістю й стійкістю до прання, відкриваючи перспективи для створення надійних носимих електронних пристроїв. Крім того, було успішно виготовлено ткане нагрівальне полотно з використанням провідної шовкової пряжі як нагрівального елемента Joule, що виробляє достатньо тепла при прикладеній напрузі 2–3 В для носимих нагрівальних пристроїв [5].

Останні дослідження Fahad Alhashmi Alamer, Ghadah A. Almalki and Khalid Althagafy продемонстрували ефективність графенового покриття для створення гнучких струмопровідних бавовняних ниток. Доведено, що оптимальним варіантом є обробка в етанолі при 78 °С, що забезпечує максимальну електропровідність 2505,68 С/см [6]. Графен також є перспективним матеріалом для створення електропровідного текстилю завдяки своїй високій провідності, механічній гнучкості та термічній стабільності. У дослідженні [7] представлено метод нанесення струмопровідного графенового покриття на текстиль за допомогою нанокompозитного чорнила з графену та еластомеру (SEBS), яке забезпечує гнучкість, механічну стійкість і довговічність після багаторазового прання, що робить його придатним для масового виробництва електронного текстилю. Дослідники повідомляють про простий, швидкий і масштабований метод приготування струмопровідних покриттів на текстилі на основі графену. Покриття готується за допомогою одного циклу скребка ракелем за допомогою нового чорнила, що складається з графену та комерційного еластомеру SEBS. Цей підхід дозволяє уникнути використання оксиду графену, таким чином уникаючи необхідності хімічного або термічного відновлення після формування покриття [7]. Такі нитки можуть бути використані як заміна традиційних електричних кабелів у мобільних пристроях.

Важливим напрямом досліджень є розробка струмопровідних текстильних ниток, здатних зберігати електропровідність після багаторазового використання та прання. Зокрема, у роботі [5] розроблено метод виготовлення високоомічних провідних шовкових ниток, вкритих нанодротоми срібла (Ag) і полімерним композитом PEDOT:PSS (Полі(3,4-етилendioкситіофен)-полі(стиренесульфонат)), які демонструють високу електропровідність (320 См/см) і зберігають свої властивості після багаторазового прання. Розвиток струмопровідних ниток є ключовим для інтеграції електроніки в текстиль. Зокрема, розроблена нитка PECOTEX на основі бавовни та PEDOT:PSS є сумісною з комп'ютеризованою вишивкою, що відкриває перспективи для створення доступних сенсорів у носимому одязі [8]. Крім того, PEDOT:PSS можна використовувати як фарбник для шовкових ниток, надаючи їм високу електропровідність (14 С/см); при цьому нитки зберігають свої електричні властивості навіть після згинання та зношування, що робить їх придатними для створення термоелектричних текстильних пристроїв.

Seungse Cho, Taehoo Chang, Tianhao Yu, Sunland L. Gong, і Chi Hwan Lee запропонували багатокольорові електролюмінесцентні (EL) нитки, які можна інтегрувати у вишивальні машини для створення світловипромінювального текстилю [9]. Крім того, представлено метод швидкого виготовлення кольорових струмопровідних ниток із мережі Cu–Ag, які зберігають високу провідність і довговічність, що робить їх придатними для створення нагрівальних пристроїв, рукавичок із сенсорним екраном та інших носимих технологій [10]. Ця технологія має потенціал у сфері декоративного текстилю, медичної сигналізації та модного інтерактивного одягу.

Одним із важливих аспектів виробництва електронного текстилю є технологія вишивки, яка безпосередньо впливає на електропровідність та стабільність струмопровідних ниток. Дослідженням особливостей вишивки, що виконана за допомогою струмопровідних ниток присвячені роботи [11–20].

Вплив типу стібка, довжини стібка та кількості ліній провідної пряжі на електропровідність матеріалу було детально досліджено у [11, 12, 13], і виявлено, що параметри вишивки можуть суттєво змінювати електричний опір, що є критично важливим для розумного текстилю. У роботі [14] систематично вивчався вплив параметрів вишивки на електричний опір двошарових вишивальних струмопровідних ліній з певною шириною, що склалися з різних курсів, і були запропоновані еквівалентні моделі електричного опору. Модель геометричної структури верхньої та нижньої провідних ниток у тканині була побудована для опису структури двошарових вишитих струмопровідних ліній. Запропонована модель опору була перевірена двошаровими провідними лініями з різними параметрами вишивки на нетканому полотні. Дослідження також показують, що текстильні електроди, створені за допомогою машинної вишивки, можуть бути ефективними для збору біосигналів та моніторингу фізіологічних параметрів [15, 16]. Крім того, встановлено, що швидкість вишивки, довжина стібка, натяг нитки та напрямок стібків суттєво впливають на якість зовнішнього вигляду та електричний опір струмопровідних доріжок, а оптимізація цих параметрів дозволяє досягти найкращої провідності текстильних схем [17]. Доповненням до експериментальних підходів стало створення геометричної моделі прогнозування електричного опору вишитих провідних ліній, що ґрунтується на теорії моста Уїтстона та дозволяє враховувати параметри вишивки, що є корисним для проектування текстильної електроніки [14]. Крім того, було розроблено інноваційний електронний текстиль, створений шляхом цифрової вишивки рідких металевих волокон, який забезпечує бездротове живлення та зв'язок ближнього поля [18]. Автори [19] представляють сучасну технологію цифрової

вишивки для виробництва електронного текстилю. Розглядаються минулі та поточні розробки, що стосуються виробництва електронного текстилю на промислових вишивальних машинах, а також огляд можливих застосувань вишивки для електронного текстилю, таких як текстильна інтеграція освітлення, датчиків, антен та електронних компонентів. Також наголошується на міждисциплінарному підході, необхідному для успішного проектування продукту eTextile для масового виробництва, і, нарешті, наводиться неповний перелік ресурсів для підтримки при розгляді виробництва електронного текстилю за допомогою цифрових технологій вишивки. Це все відкриває нові можливості для медичних сенсорів та спортивної електроніки. У роботі [20] було розглянуто питання тертя та можливості інтеграції ручної вишивки та електроніки у проектуванні та виготовленні рідкокристалічних текстильних дисплеїв. Використовуючи кумулятивну модель для представлення фізичних, електричних і теплових властивостей та поведінки рідкокристалічних дисплеїв, було створено електронний посібник з вишивання, що характеризує 12 найпоширеніших вишивальних швів.

Важливим аспектом розвитку електронного текстилю є механічна та електрична стабільність ниток при їхньому використанні. Стійкість електронного текстилю залежить від впливу таких чинників, як натяг, механічне зношення та прання.

Дослідження семи комерційно доступних струмопровідних ниток показало, що прання та натяг можуть суттєво впливати на їхню продуктивність [21]. Було також виявлено, що машинна вишивка піддає нитки значним механічним навантаженням, що може пошкоджувати їхню структуру та змінювати електропровідність [22]. Навіть мінімальний натяг або прання можуть погіршувати провідність струмопровідних ниток, особливо тих, що мають срібне покриття [21], що вказує на необхідність оптимізації матеріалів і виробничих процесів для забезпечення довговічності електронного текстилю [23]. Крім того, інше дослідження аналізувало вплив різних типів стібків на електричний опір ниток, де було встановлено, що довжина стібка та кут розташування значно впливають на електропровідність, а модель на основі штучної нейронної мережі (ANN) продемонструвала кращі результати прогнозування, ніж традиційні методи [24, 25]. У дослідженні [26] проаналізовано вплив багаторазового машинного прання на електричні характеристики в'язаного текстильного датчика у формі «розумного рукава». Попри зростання електричного опору через фізичні зміни у пряжі та окислення провідного шару, датчик зберіг передбачувану й стабільну чутливість до згинальних рухів навіть після 75 прань, що доводить його ефективність для кількісного моніторингу рухів суглобів у реабілітаційних і комерційних застосуваннях.

Одним із основних напрямів досліджень електронного текстилю є створення інтегрованих сенсорних систем для моніторингу фізіологічних параметрів людини та розробка високочутливих текстильних сенсорів. Зокрема, запропонований датчик тиску на основі пористого Ecoflex та вуглецевих нанотрубок (CNT) демонструє широкий діапазон чутливості (до 400 кПа), швидкий час відгуку та довговічність [22]. Це відкриває перспективи для моніторингу біомеханічних параметрів у спортивній медицині та реабілітації. Розробка безшовної сенсорної рукавички на основі цифрової технології в'язання дозволяє створювати зручні носимі пристрої для відстеження рухів людини та роботів [27]. Іншим прикладом є розумна пов'язка «SPA touch», яка може передавати тактильні та емоційні сигнали на відстані завдяки використанню дев'яти індивідуально керованих точок дотику [29]. Такі пристрої можуть бути корисними у сфері телемедицини, особливо для надання психологічної підтримки пацієнтам у віддалених регіонах. Окрім цього, розробка резистивних текстильних датчиків деформації дозволяє створювати м'які носимі пристрої, що зберігають чутливість і стабільність вимірювань при фізичних навантаженнях [30]. У практичній реалізації досягнень цієї сфери було створено електронний текстильний костюм (E-TeCS), здатний у реальному часі проводити мультимодальні фізіологічні вимірювання, зокрема температури, серцевого ритму та дихання. Завдяки щільному приляганню до тіла, костюм забезпечує високу точність зчитування даних, що робить його перспективним для спортивної медицини та дистанційного моніторингу здоров'я [31]. Розроблено текстильний ємнісний датчик вологості, інтегрований у перев'язувальні матеріали для контролю загоєння ран [28]. Це може значно покращити догляд за пацієнтами, зменшуючи необхідність частого зняття пов'язок. Дослідження також представило носиму рукавичку для розпізнавання шрифту Брайля, орієнтовану на людей із вадами зору. Вона підвищує естетичний і психологічний комфорт користувачів завдяки ергономічному дизайну [32]. Окрім моніторингу медичних показників досліджується автоматичний моніторинг часу циклу кожної операції в автоматичному режимі та аналіз процесу роботи. Для цього була розроблена розумна система устілок, яка вимірює розподіл підшовного тиску під час процесу шиття в режимі реального часу [33].

Забезпечення автономного живлення для електронного текстилю є одним із ключових викликів. Дослідження підтвердили, що текстильні термоелектричні структури можуть використовуватися для генерування енергії, що відкриває перспективи для автономного функціонування носимих пристроїв [5]. Одним із важливих напрямів розвитку є інтеграція бездротових енергетичних систем у текстиль, що значно підвищує ефективність носимої електроніки [18]. Крім живлення, важливою складовою носимих пристроїв є бездротовий зв'язок і передача даних. У цьому контексті розроблено текстильні патч-антени, які є легкими, гнучкими та компактними, забезпечуючи ефективну комунікацію з електронними системами [34]. Також проведено аналіз струмопровідних

ниток, придатних для антенно-текстильних рішень, із наголосом на необхідності стандартизації матеріалів для стабільної роботи таких систем [35]. Крім того, дослідження розтяжних діодів на основі органічних і наноматеріалів, здатних працювати на частотах до 13,56 МГц, демонструють потенціал таких компонентів у бездротових сенсорах і дисплеях для носимої електроніки [36].

Одним із практичних застосувань електронного текстилю є нагрівальні елементи для медичних потреб. Розроблено бездротовий нагрівальний пояс на основі електронного текстилю, який демонструє ефективність у полегшенні болю в спині, при дисменореї та болю в животі. Випробування струмопровідних ниток показали, що нитка ВК 50/1 забезпечує точне й контрольоване нагрівання, що робить її особливо придатною для терапевтичного використання [37]. Водночас впровадження термоелектричних пристроїв у текстиль дозволяє не лише здійснювати обігрів, а й генерувати електроенергію за рахунок тепла людського тіла, підтримуючи стабільну температуру. Дослідження підтвердило, що текстильні матеріали на основі PEDOT:PSS мають високий потенціал для використання в носимих технологіях, зокрема у вигляді «розумних» нагрівальних полотен та сенсорів для моніторингу температури [38]. Ґрунтуючись на своїх спостереженнях, Mukai Y., Suh M прийшли до висновку, що задовільне нагрівання було б можливим при лікуванні гіпертермії поверхневих пухлин за допомогою текстильної антени на основі поліестеру. Будучи гнучким, легким і з низькими діелектричними втратами завдяки пористій текстильній структурі, представлений текстильний підхід робить більш зручним для пацієнта рішення в лікуванні раку [39].

Для ефективного використання носимих пристроїв важливими є показники теплового комфорту та зносостійкості. Дослідження антивібраційних рукавичок виявило значний вплив матеріалів на температуру шкіри та повітропроникність, що є критично важливим для їх подальшої оптимізації [40].

Одним із перспективних напрямів є поєднання 3D-друку з текстильними компонентами для створення стабільних електричних контактів. Дослідження [41] продемонструвало, що використання 3D-друкованих з'єднувачів для провідних ниток дозволяє створювати надійні електронні текстильні схеми. Однак вплив штучного поту може змінювати імпеданс з'єднань, що потребує додаткових досліджень для оптимізації конструкцій.

Автори [42] в результаті аналізу розділяють всі «розумні» предмети одягу на шість категорій залежно від їх функції, а саме; інтернет-банкінг (5%) моніторинг здоров'я (53%); екологічна пристосованість (4%); емоційна взаємодія (6%); керування гаджетами (18%).

Полухович І. систематизувала технології розумного одягу, які можна використовувати для танцювальних костюмів, щоб надати можливість змінювати візуальні характеристики за допомогою мобільного додатку, а також було розроблено танцювальний костюм із використанням діодів. Оцінку проводили учасники танцювальних колективів. Було визначено, що мобільний додаток був би більш підходящим способом керування режимами освітлення костюмів через те, що смартфони зазвичай носять із собою, а пульти дистанційного керування не зручні для такого роду дій. Додаток забезпечить конкурентоспроможність такого одягу [43].

Аналіз сучасних досліджень і публікацій свідчить про стрімкий розвиток галузі електронного текстилю, зокрема у напрямках розробки струмопровідних ниток [1-10], удосконалення технологій вишивки [11-20], інтеграції автономних джерел живлення та бездротового зв'язку [5, 18, 34-36]. Різноманітність використаних матеріалів (від нанодротів срібла та графенових композитів до полімерних покриттів PEDOT:PSS) дозволяє створювати текстильні вироби з високими електричними характеристиками, механічною гнучкістю та стійкістю до механічного знесення [1-8]. Водночас дослідження демонструють, що такі параметри, як тип стібка, натяг нитки та вплив прання [21-26], істотно впливають на довговічність і стабільність електропровідних властивостей, що визначає необхідність подальшого удосконалення технологічних процесів та вибору матеріалів.

Більшість наукових розробок у сфері електронного текстилю зосереджені на створенні та удосконаленні технологій для медичних застосувань, спортивної реабілітації, моніторингу фізіологічних параметрів та сенсорних систем [22, 27-33]. Основна увага приділяється забезпеченню електричної та механічної стабільності виробів, інтеграції автономних джерел живлення та бездротового зв'язку. Водночас напрям використання електронного текстилю у святковій, сценічній та декоративній індустрії залишається менш дослідженим, що відкриває перспективи для подальших наукових пошуків та технологічних розробок у цій галузі.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є систематизація наукових і комерційних даних щодо застосування інтелектуального текстилю, зокрема струмопровідних ниток, для створення танцювального одягу зі світловими ефектами. Це дозволить розробити методологічні основи та практичні рекомендації для інтеграції електроніки в швейні вироби.

Для досягнення мети дослідження слід вирішити наступні завдання:

1. проаналізувати та порівняти наукові публікації та комерційні інтернет-ресурси для виявлення ключових відмінностей у підходах до вивчення та популяризації інтелектуального текстилю;
2. систематизувати дані щодо технічних характеристик комерційно доступних струмопровідних ниток, їхніх виробників та сфери застосування на основі аналізу наукової літератури;

3. проаналізувати інноваційні технологічні та дизайнерські рішення, представлені в соціальних мережах, зокрема в контексті танцювальних костюмів зі світловими ефектами;

4. розробити практичні рекомендації щодо вибору матеріалів та технологій для створення сценічних костюмів з інтегрованими світловими ефектами.

Виклад основного матеріалу

Аналіз наукової літератури, присвяченої інтелектуальному (смарт) текстилю та струмопровідним текстильним матеріалам, засвідчивши, що найбільш досліджуваним напрямком є створення нових типів струмопровідних ниток із застосуванням методів обробки, нанесення покриттів і просочування, що охоплює 23,26% від загальної [1-10]. Дещо менше уваги привертають питання аналізу конструктивних параметрів вишивки, таких як тип і довжина стібка, що впливають на електропровідність текстильних матеріалів; ці дослідження становлять 20,93% від загальної вибірки [11–20]. Близько 18,6% проаналізованих робіт [22, 27–33] зосереджені на розробці систем для моніторингу стану здоров'я.

Окремим напрямом є вивчення стійкості провідникових властивостей вже наявних струмопровідних ниток до зовнішніх механічних та хімічних впливів, таких як прання та тертя (11,63%) [21-26]. Питанням енергозабезпечення елементів електронного текстилю присвячено 11,63% наукових праць [5, 18, 34-36].

Інші специфічні напрями досліджень охоплюють розробку нагрівальних елементів на основі текстилю (4,65%) [37-39], дослідження антивібраційних рукавичок (2,33%) [40], інтеграцію 3D-друку з текстильними матеріалами з метою формування стабільних електричних з'єднань (2,33%) [41], аналіз існуючих зразків смарт-одягу (2,33%) [42], а також систематизацію технологій інтелектуального текстилю в контексті сценічного та танцювального костюму (2,33%) [43].

Аналіз наукових публікацій, присвячених інтелектуальному текстилю та струмопровідним текстильним матеріалам представлено на рисунку 1.

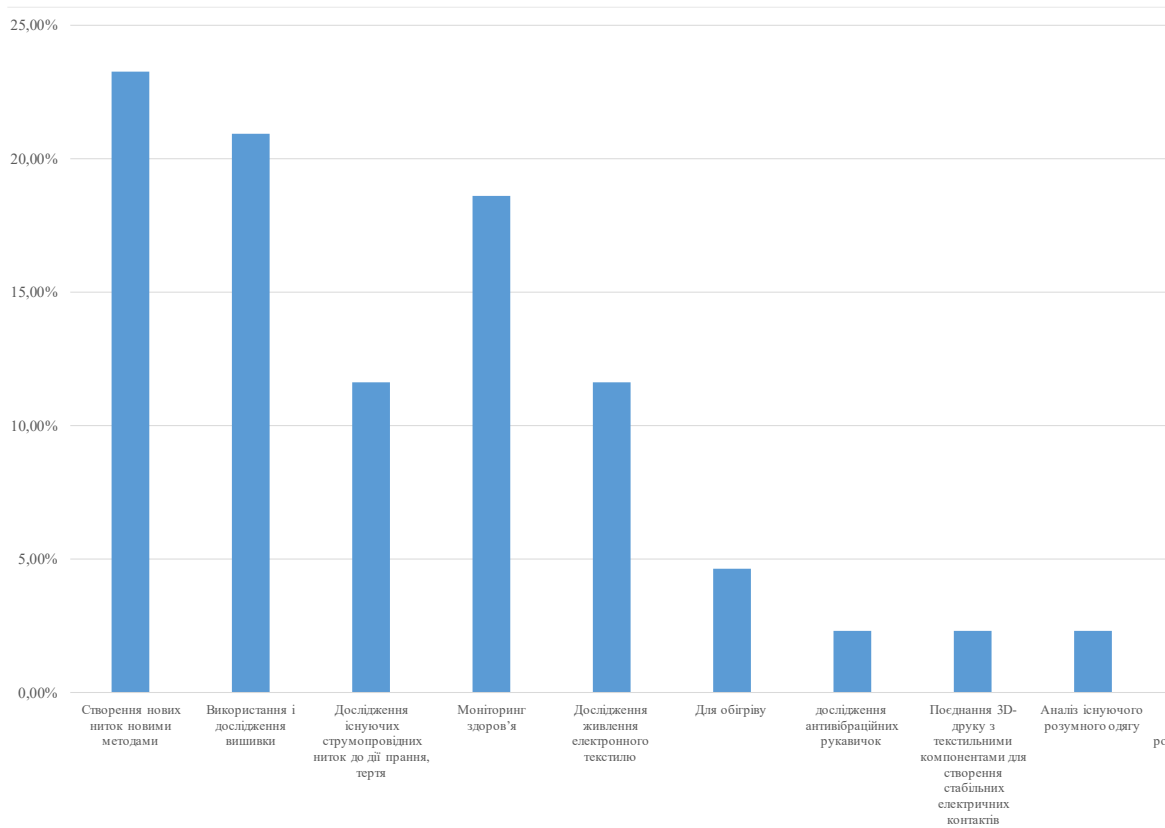


Рис. 1. Аналіз наукових публікацій, присвячених інтелектуальному текстилю та струмопровідним текстильним матеріалам

Для виявлення ключових відмінностей у підходах до вивчення та популяризації інтелектуального текстилю в наукових та комерційних джерелах було здійснено аналіз інформаційного контенту, що публікується на спеціалізованих веб-ресурсах та в соціальних мережах, присвячених сучасним розробкам у сфері інтелектуального (смарт) одягу, зокрема інноваціям, впровадженням українськими та зарубіжними брендами. Матеріали, як правило, подаються у форматі текстового супроводу з візуальним контентом (фотографіями або відео), українською та англійською мовами. Пошукові запити за ключовими словами «смарт-одяг» або «розумний одяг», «струмопровідна нитка», «електропровідні матеріали» найчастіше ведуть до онлайн-магазинів, що пропонують струмопровідні

тканини, нитки, а також елементи одягу зі світлодіодним підсвічуванням (51,85%). Переважна більшість таких товарів є продукцією іноземного виробництва, що реалізується через українські електронні торговельні платформи. 48,15% усіх розглянутих інформаційних ресурсів – сайти різноманітного спрямування, що містять несистематизовану інформацію про смарт одяг (від науково-популярних статей до інформації рекламного характеру).

У межах дослідження було також опрацьовано контент соціальних мереж, зокрема Instagram, Tik-tok та Facebook. Пошук інформації за ключовими словами українською та англійською мовами - «смарт одяг», «розумний одяг», а також «одяг, що світиться» у соціальних мережах Instagram, Facebook та TikTok не дав результатів, що стосуються тематики смарт-одягу. Натомість при використанні пошукової фрази «show light dance» та «conductive thread» виявлено відеоматеріали у мережах Instagram та TikTok, тоді як пошук у Facebook не виявив публікацій, що відповідають запиту. Найбільшу кількість релевантної інформації зафіксовано в Instagram. Візуальна інформація у цьому середовищі переважно представлена у форматі відеозаписів, значно рідше у вигляді статичних зображень.

Серед розглянутих інноваційних рішень у дизайні одягу можна виокремити кілька основних груп. До категорії **одягу зі світловими ефектами** належать знімні світлові крила (8%) та вироби зі світлодіодним або LED-підсвічуванням (52%). **Одяг із трансформованими чи динамічними елементами** представлений виробами з інтегрованими рухомими деталями (8%) і зразками тканин, що змінюють форму під дією температури (6%). У категорії тканин зі змінними властивостями виділяють матеріали, що змінюють колір під впливом ультрафіолету (2%), температури (2%), реагують на спалах фотоапарата (2%) або змінюють вигляд у русі, створюючи ефект переливання (2%). Окремо представлено серію відеофрагментів (18%), що ілюструють ручну технологічну операцію з'єднання струмопровідного провідника зі світлодіодом. Аналіз інформаційного контенту соціальної мережі Instagram представлено на рисунку 2.

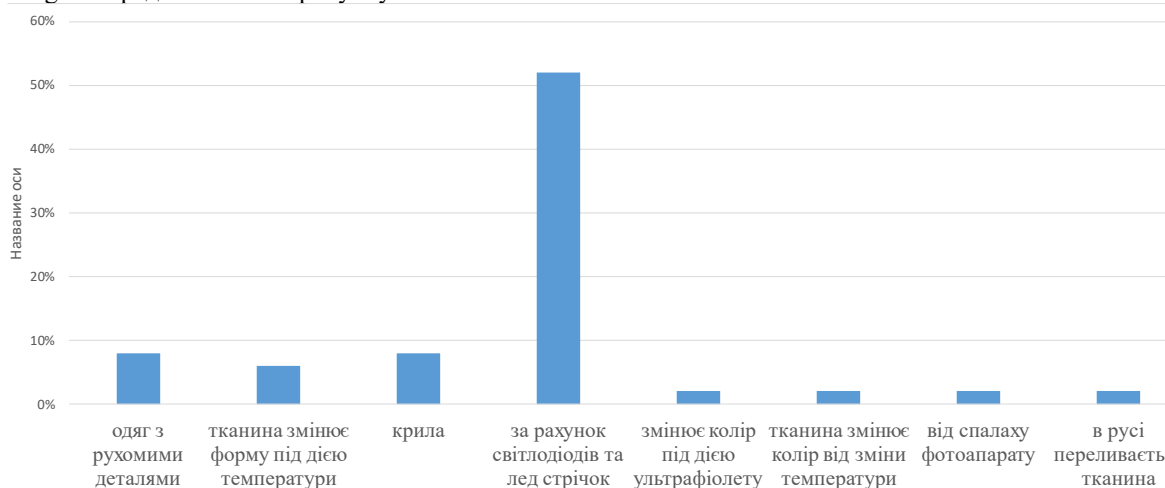


Рис. 2. Аналіз інформаційного контенту соціальної мережі Instagram

Уся знайдена інформація, що зосереджена в соціальній мережі *TikTok*, представлена у вигляді відеоматеріалів, тематично спрямованих на демонстрацію танцювальних костюмів із візуальними світловими ефектами, що забезпечені використанням LED стрічок та світлодіодів (72,22%) та відеоматеріали, що демонструють процес ручного приєднання струмопровідної нитки до світлодіода (27,78%).

Перелік посилань на спеціалізовані веб-ресурси та соціальні мережі, присвячені сучасним розробкам у сфері інтелектуального (смарт) одягу, представлено у базі даних інформаційних ресурсів (рис. 3). Розроблена база даних має табличну структуру з кількома основними полями (стовпцями), які класифікують інформацію. База даних складається з полів: «Ресурс», «Продукт», «Характеристика», «Значення» та «Посилання». У полі «Ресурс» зазначено, на якому конкретному ресурсі була знайдена інформація («Instagram», «TikTok», «Веб-сайт»). У полі «Продукт» виконано класифікацію джерела інформації за типом продукту або контенту (наприклад, «Готові вироби», «Сировина і матеріали», «Онлайн-продажі», «Блоги»). Поле «Характеристика» деталізує тип контенту в межах ресурсу (наприклад, «Країна виробник (продавець)», «Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)», «Мова публікації»). У полі «Значення» наведено короткий опис, що містить ключову інформацію про вміст за посиланням (наприклад, "Одяг, що світиться", "Одяг, що змінює форму", або ж міститься інформація про країну-виробника або мову ресурсу, залежно від його типу). У стовпці «Посилання» вказано пряме URL-посилання на джерело інформації. Таким чином, ця база даних використовує ієрархічну класифікацію, де кожне джерело спочатку групується за типом ресурсу, потім за характеристикою контенту, а потім надає пряме посилання та опис. Така структура дозволяє ефективно систематизувати та аналізувати дані з різноманітних джерел.

Ресурс		Характеристика		
Instagram		Додаткова функція		
Tk-tok		Країна-виробник (продавець)		
Веб-сайт		Мова публікації		
Продукт		Значення		
Блог		Англійська		
Готові вироби		Велика Бри...		
Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)		Китай		
Сировина і матеріали		Одяг, що з...		
		Одяг, що с...		
		Струмопро...		
		США		
		Тканина/ т...		
		Україна		
		Українська		
Ресурс	Продукт	Характеристика	Посилання	Значення
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C5isatQyCkR/?igsh=MWp2b3Q1NwX1MDA2YQ	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C4QYh61yIRI/?igsh=MXhNDB6v2kwcXK52w	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/p/C4LFA6I0S/?igsh=2XZpb7ZvcmmNG1I	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C5yl2X-NGlI/?igsh=ZwVdNxpucWjv	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/p/C47zd1rjI9/?igsh=OG8weDBilZnFq	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C1yVapCV7S/?igsh=NgxMGfmbjg2emlr	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/CxTW5Ulkdv/?igsh=MWd2nd1bd4NDlUwQ	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/p/C7P5Rm5IXC/?igsh=MWz2a10cW04NWN4dg	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C5HQBtUv.../?igsh=9Yjldl84b6MydG5u	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/p/C6rhvpuhN8/?igsh=MWd1M4oMMD5ZHVXNg	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/p/C6C9e5h8d/?igsh=3B4bSGZ714dm8k	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C5N3Dio3JD/?igsh=cn2XNGbaxXN2WU1	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C4Gck4BvMs9/?igsh=MWJoaZidWxthXmYQ	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6wm4nlrGrr/?igsh=bGdsN8kdHnhbTF4	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6eTinN8Gk/?igsh=MWV2a1NkNHV2dIRIMg	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/CaWhV-PobS/?igsh=MWlvb3ExM3opeXdlMw	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C7JlknlnPD/?igsh=4385cDJlGcU1aDe3	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6mUdNswl/?igsh=9Yjldl84b6MydG5u	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C51fHcEPld/?igsh=GhIbivNvncNmI	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C67KxeQP2M/?igsh=NzhYWhrcXjScmFn	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C5bDI8xv2C/?igsh=MXQeQvMUzajl3Yj4dNA	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/p/C9lT75ODEv/?igsh=MTNnMxMoMn3Ynllcg	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6p2-e5v2Hu/?igsh=b255Ndr7Btd45	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6hplDAvB84/?igsh=MXJ2eWkMnnyvGzUa	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C68chdbdl.../?igsh=tmNzP2MhHtaGzW	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C63AuzDzUa/?igsh=bXyzH2vjaRiG5V4	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C68N2mp1r7/?igsh=2Yw1MX80N8GvQ7Bm	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6N3rso7XS/?igsh=ZnhvZlhp2m8c0Lz	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6hK0dy97n/?igsh=dWpaa3d0bWp0d2	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6_aK3o053/?igsh=MWlqNdkdD86bnzYw	Одяг, що світиться
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6YfApuNxs5/?igsh=bHAWNGSkzmFv7z3	Одяг, що змінює форму
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6F3dAmr2X/?igsh=2Z21OWBwzmZmkGUB3	Одяг, що змінює форму
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6eK8X-vWpY/?igsh=Z0dhYXhsMGs2cTlq	Одяг, що змінює форму
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6aSCHhNvQs/?igsh=OG6h4H8pcDNsb3dl	Одяг, що змінює форму
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C67lBnExkmK/?igsh=MTBz35a3FmNDzrdQ	Одяг, що змінює форму
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C64GvWwlbXK/?igsh=MTNxcD8rZwVvYVM2bw	Одяг, що змінює форму
Instagram	Готові вироби	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6qOMc...LYR/?igsh=Zy4cDN1c2Uy2a2	Одяг, що змінює форму
Ресурс	Продукт	Характеристика	Посилання	Значення
Instagram	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6PYXokoBc/?igsh=MYX5d4mVhNvdDho7A	Тканина/ текстиль, що змінює колір
Instagram	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/CvleBMka.../?igsh=MWNhNwQz7x1dWvNA	Тканина/ текстиль, що змінює колір
Instagram	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/CuH8ncconym/?igsh=MWFOaG4N2WJb4	Тканина/ текстиль, що змінює колір
Ресурс	Продукт	Характеристика	Посилання	Значення
Instagram	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://www.instagram.com/p/C6aUv7FDq/?igsh=N53ZN0b0v7MDUz	Струмопровідна нитка
Instagram	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6o...oXh5nZ/?igsh=MX85aW3eWlvZ21OeA=	Струмопровідна нитка
Instagram	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://www.instagram.com/p/C6z...Zab7vYbF/?igsh=emnt3OXi0eHdwHxZ2	Струмопровідна нитка
Instagram	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://www.instagram.com/p/C6hMvYfPz4Z/?img_index=3&igsh=MW91d81bzQ1aXivM=	Струмопровідна нитка
Instagram	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C61Y...fN8Fp/?igsh=ym3NmU0TByGc2	Струмопровідна нитка
Instagram	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://www.instagram.com/reel/C6LcOX5gEic/?igsh=bT4a3e1N3F0T7B	Струмопровідна нитка
Instagram	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://www.instagram.com/p/B...UvUyL3bm/?igsh=dNlciF4XkRnb21o	Струмопровідна нитка
Instagram	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://www.instagram.com/p/DGQ3vUvRtE/?igsh=MXhbn3ZXhZnRmYQ=	Струмопровідна нитка
Instagram	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://www.instagram.com/p/C6k8aIOE5V7img_index=2&igsh=EWU1NkUwciF2bzBo	Струмопровідна нитка
Ресурс	Продукт	Характеристика	Посилання	Значення
Tk-tok	Готові вироби	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZShV7s8pB/	Одяг, що світиться
Tk-tok	Готові вироби	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZShV7QG6B/	Одяг, що світиться
Tk-tok	Готові вироби	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZShV7KT4r/	Одяг, що світиться
Tk-tok	Готові вироби	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZShV7Tt41/	Одяг, що світиться
Tk-tok	Готові вироби	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZShV87se/	Одяг, що світиться
Tk-tok	Готові вироби	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZShVvfbvE/	Одяг, що світиться
Tk-tok	Готові вироби	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZShVvPC9/	Одяг, що світиться
Tk-tok	Готові вироби	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZShVv7EH/	Одяг, що світиться
Tk-tok	Готові вироби	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZShVv5YD/	Одяг, що світиться
Tk-tok	Готові вироби	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZShVvVvQ/	Одяг, що світиться
Tk-tok	Готові вироби	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZShVv7y2/	Одяг, що світиться
Tk-tok	Готові вироби	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZShVvGtX/	Одяг, що світиться
Tk-tok	Готові вироби	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZShVvWAn/	Одяг, що світиться
Ресурс	Продукт	Характеристика	Посилання	Значення
Tk-tok	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZSh6QcXz/	Струмопровідна нитка
Tk-tok	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZShaiy5o/	Струмопровідна нитка
Tk-tok	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZShaiy58n/	Струмопровідна нитка
Tk-tok	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZSh6NGtG/	Струмопровідна нитка
Tk-tok	Сировина і матеріали	Додаткова функція	https://vm.tiktok.com/ZSh6FKG6/	Струмопровідна нитка
Ресурс	Продукт	Характеристика	Посилання	Значення
Веб-сайт	Блог	Мова публікації	https://50plus.com.ua/	Українська
Веб-сайт	Блог	Мова публікації	https://techno.nv.ua/ukr/it-industry/rozumnyy-odiyag-shcho-ce-take	Українська
Веб-сайт	Блог	Мова публікації	https://y-variant.com.ua/article/umnyy-odezhd/	Українська
Веб-сайт	Блог	Мова публікації	https://zn.ua/ukr/TECHNOLOGIES/polskii-modelier-stvoriv-emotsiini-odiah-ia-ki-reahue	Українська
Веб-сайт	Блог	Мова публікації	https://patioy.org.ua/economic/vcheni-stvorily-rozumnyy-odiyag	Українська
Веб-сайт	Блог	Мова публікації	https://hromadske.ua/posts/vapontci-stvorili-rozumnyy-odiyag-dlya-sobak	Українська
Веб-сайт	Блог	Мова публікації	https://voege.ua/article/fashion/brend/anrealea-predstavili-odiyag-yakiy-zminyue-kolir-pid-ultrafioletovim-svitlom-51487.html	Українська
Веб-сайт	Блог	Мова публікації	https://vctr.media.ua/moda-malbutnogo-czei-odiyag-zminyue-kolir-vid-vplyvom	Українська
Веб-сайт	Блог	Мова публікації	https://www.coolwearable.com/omius-robotic-jacket-ai/	Англійська
Веб-сайт	Блог	Мова публікації	https://www.sportswearable.net/get-form-feedback-and-3d-workout-tracking-with-enflux	Англійська
Веб-сайт	Блог	Мова публікації	https://www.fiberjournal.com/challenges-in-making-smart-clothing-accessible-for-healthcare/	Англійська
Веб-сайт	Блог	Мова публікації	https://www.lululemon.com/blog/welcome-to-the-future-of-smart-clothes-and-wearable	Англійська
Веб-сайт	Блог	Мова публікації	https://textash.com/update/clothes-turn-smarter-with-seams-that-can-capture-body-movement	Англійська
Ресурс	Продукт	Характеристика	Посилання	Значення
Веб-сайт	Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)	Країна-виробник (продавець)	https://mikronika.com.ua/ua/p1188135940-nit-inkoprovodnyashchaya-sparkfun.html	Україна
Веб-сайт	Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)	Країна-виробник (продавець)	https://brom.ua/ua/Tokoprovodnyashchaya-nit.html	Україна
Веб-сайт	Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)	Країна-виробник (продавець)	https://tuholm.com.ua/product/strumoprovodnyy-silver-tech/	Україна
Веб-сайт	Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)	Країна-виробник (продавець)	https://odeon.com.ua/katehoriya/odiyag-dlya-stseny-tantsiv-8.aspx	Україна
Веб-сайт	Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)	Країна-виробник (продавець)	https://bigl.ua/ua/p59038213-svetshachiesya-kostyumy-gibkii	Україна
Веб-сайт	Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)	Країна-виробник (продавець)	https://shafa.ua/ua/kids/dlya-malchikov/karnavalnye-kostiumy/	Україна
Веб-сайт	Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)	Країна-виробник (продавець)	https://omart.com.ua/kanyana-Heat-Reactive-zminyue-kolir-vid-temperatury-z-pyntom-vid-1-ky	Україна
Веб-сайт	Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)	Країна-виробник (продавець)	http://ua.metalibertech.com/conductive-yarn/steel-fiber-yarn/	Китай
Веб-сайт	Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)	Країна-виробник (продавець)	http://uk.3ltextile.com/stainless-steel-filaments-yarnthread-product/	Китай
Веб-сайт	Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)	Країна-виробник (продавець)	http://uk.shieldyami.com/products/	Китай
Веб-сайт	Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)	Країна-виробник (продавець)	https://www.aliexpress.com/item/1005005288732859.html?src	Китай
Веб-сайт	Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)	Країна-виробник (продавець)	https://www temu.com/ua	Китай
Веб-сайт	Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)	Країна-виробник (продавець)	https://illuminateadaparel.com/	Велика Британія
Веб-сайт	Онлайн-продажі (текстиль, фурнітура, нитки)	Країна-виробник (продавець)	https://www.amazon.com/Fiber-Optic-Sleeveless-Hoodie-Costume/	США

Рис. 3. Аналіз інформаційного контенту веб-ресурсів та соціальних мереж, присвячених розробкам у сфері інтелектуального (смарт) одягу

Проведений аналіз джерел інформації засвідчив відмінності в підходах до висвітлення тематики смарт-одягу залежно від типу ресурсу. У наукових публікаціях переважає зосередження на технічних аспектах, таких як удосконалення, розробка та вивчення властивостей струмопровідних

ниток або окремих елементів одягу з електропровідними компонентами. Веб-ресурси, натомість, орієнтовані переважно на комерційний аспект, зокрема реалізацію готової продукції (струмопровідних ниток, світлових аксесуарів, святкових костюмів тощо). У соціальних мережах (зокрема TikTok, Instagram) домінують відеоматеріали з демонстрацією танцювальних виступів у вже готових костюмах зі світловими ефектами, при цьому майже повністю відсутня технічна інформація щодо процесу їхнього виготовлення. Окрім цього, у соцмережах трапляються короткі відео, що демонструють ручне з'єднання струмопровідної нитки зі світлодіодами, однак технологія приєднання не супроводжується науковим описом: не вказуються види ниток, типи світлодіодів, способи живлення тощо. Такий фрагментарний характер подачі інформації актуалізує потребу в її систематизації, зокрема в контексті створення танцювального одягу зі світловими ефектами як елементу шоу. Таблиця 2 містить ґрунтовний порівняльний аналіз характеристик струмопровідних ниток за даними наукової літератури [1, 2, 5-18, 20, 21, 23-33, 35, 37, 41].

Таблиця 2

Аналіз характеристик струмопровідних ниток за даними наукової літератури

№ п/п	Назва нитки	Призначення	Джерело	Особливості	Instagram	Веб-сайти
1	Електропровідна пряжа на основі регенованої целюлози, спеленої з іонної рідини та покритої PEDOT:PSS; целюлозна нитка з покриттям і комерційна посріблена поліамідна нитка для вишивання (HC12 від Madeira Garnfabrik).	Пошиття текстильного позаплощинного термоелектричного пристрою з валяної вовняної тканини (Wadmal, товщиною ~1 мм, 3,2 г/дм) як ізоляційна підкладка.	[1]	Целюлозні нитки з PEDOT:PSS+Ag нанодотовим покриттям були виготовлені шляхом пакетного процесу, де шматки целюлозної пряжі занурювали в розчин нанодоту Ag (5 г L ⁻¹ в ізопропіловому спирті, Sigma-Aldrich)	-	-
2	Цей стандартний продукт повинен пропонуватися під назвою hiTEX. Вихідним матеріалом є поліестер Мультифіламент з тонкістю 110dtexf36.	Підігрів визначених зон у функціональному одязі та автомобільних сидіннях. Метою є використання текстильної основи нагрівачі для забезпечення еластичності, гнучкості та повітропроникності.	[2]	На основі поліестеру були протестовані нитки multifilament. Використовувалися полімерні покриття на основі поліуретану. Як струмопровідні добавки частинки вуглецю та іскропровідні полімери були додані в полімерне покриття в різних концентраціях.	-	+
3	Різні типи ниток: шовковий шнур, волосін, поліефірна нитка та бавовняна пряжа, модифіковані за допомогою обмотки наносіткою Cu-Ag.	Пришивання світлодіода на одяг або рукавичку без будь-якої олов'яної пайки використовуються струмопровідні нитки, які можуть запалювати білі або сині світлодіоди з напругою постійного струму (DC) 2,6 В.	[10]	М'яка і гнучка струмопровідна нитка може бути використана як компоненти схеми в носимих електронних тканинах за допомогою традиційних методів пошиття, таких як шиття та ткацтво.	+	+
4	Мультинитка нікелева провідна (Lebrator 40 Kururay Vectran® Outer)	Нікель провідну пряжу можна було вишивати на прототип футболки, щоб бути сполучною ланкою між датчиком температури і екраном. Можливе застосування в медицині	[11]	Електропровідні нитки, які вишиті прямим і зигзагоподібним стібком.	+	-
5	Провідна нитка (0,5 Ω/см, JAMECO92) як резистивний нагрівач і трафаретний SFXC TLC 1	Інтеграція ручної вишивки та електроніки у проектуванні та виготовленні рідкокристалічних текстильних дисплеїв	[20]	Нерівномірність активації рідких кристалів за допомогою переплетення стібків може бути використана для отримання більш аналогових виразів рідкого кристалу та більших	-	-

				варіацій кольору. У цьому дизайні ми віддзеркалюємо відтінки синього, зеленого, фіолетового, фіолетового, жовтого і червоного в образному дизайні, що зображає полярне саяво, або північне саяво.		
6	Струмопровідні нитки були посрібленими та непокритими нейлоновими нитками 66 44/12, обгорнутими навколо 20 декс одного волокна спандексу з лінійним опором менше 125 Ω/дюйм (Marktek Inc., Честерфілд, Мічиган, США).	Цифрова технологія пов'язання використовується для розвитку сенсорної системи рукавичок за допомогою програмованого та автоматизованого процесу створення безшовної тривимірної (3D) рукавички.	[27]	Система датчиків безшовних рукавичок складається з нейлону і спандексу з поліестером для базової форми рукавичок, а струмопровідні нитки з текстурованим нейлоном використовувалися в якості сенсорного блоку.	+	-
7	Електропровідна нитка шляхом покриття мерсеризованих волокон бавовни MXene	Пристрій, призначений для допомоги людям із вадами зору (VIP), які не знайомі зі шрифтом Брайля та/або важко його вивчають	[32]	До вказівного пальця кріпляться датчики тиску, здатні розпізнавати шрифт Брайля	-	-
8	Електролюмінесцентні нитки для вишивання (синього, зеленого та жовтого кольорів)	Використання на бавовняних рушниках, прапорах, футболках та килимах	[9]	Програмована машинна вишивка для створення декоративних малюнків	+	+
9	Струмопровідна пряжа (Soitex, gyeonggi-do, Республіка Корея),	Виготовлення нового виду струмопровідних ниток	[24]	Створення струмопровідних ниток з використанням нейлонових волокон з срібним покриттям.	-	+
10	Струмопровідні нитки Silver-tech 150 (поліамідна з срібним покриттям) від Amann, Беннігхайм, Німеччина та HC 12 (виготовлена з поліамідної/посрібленої пряжі) від Мадейри, Північний Йоркшир, Великобританія.	Пов'язка для лікування ран	[28]	Вишиті датчики на текстильній основі	-	+
11	Струмопровідна нитка Shieldex® 117/17 dtex 2 ply(Німеччина)	Бездротові натільні мережі	[12]	Збір фізіологічних даних та передачі цих даних для аналізу	-	+
12	Струмопровідна нитка (Виробник не вказано)	Розробка розумної системи устілок	[33]	Автоматичний моніторинг часу циклу кожної операції в автоматичному режимі та аналіз процесу роботи.	-	-
13	Струмопровідна нитка з срібним покриттям; та поліметилметакрилатне (PMMA) полімерне оптичне волокно (POF)	П'ять яскравих інтерактивних трикотажних текстильних виробів POF	[23]	Дослідження впливу прання та стирання на освітлення та провідність інтерактивного в'язаного текстилю POF	-	-
14	Струмопровідна нитка (Виробник не вказано)	Пов'язка на руку людського дотику, можна носити на передпліччі	[29]	Передача емоцій за допомогою емоційних тактильних жестів. Три режими: «Поплескування», «Обійми» та «Пестоші»	+	+

15	Бавовняні нитки, модифіковані PEDOT:PSS (PECOTEX)	Виготовлення більш комерційно доступної струмопровідної нитки	[8]	Створена повністю органічна струмопровідна нитка на основі бавовни (PECOTEX), яка сумісна з побутовими та промисловими комп'ютеризованими вишивальними машинами.	-	-
16	Струмопровідна нитка з нержавіючої сталі Bekinox VN14/1x90/100Z (Bekaert, Zwevegem, Бельгія)	Три зразки датчиків. Інтеграція в повсякденний одяг для безперервного відстеження рухів суглобів поза межами лабораторних умов.	[30]	Реабілітація опорно-рухового апарату	-	+
17	Струмопровідна нитка Bekinox 50/1 (BK 50/1 Індія) та Філіппінського текстильного та науково-дослідного інституту (PTRI)	Бездротовий нагрівальний пояс з електронного текстилю	[37]	Допомога людям з болем у спині, дисменореєю та болем у животі	-	+
18	Струмопровідна нитка HC 12 і HC 40 MADEIRA Струмопровідна нитка Silver-Tech 50 і Silver-Tech 120 AMANN Group	Вивчення комерційно доступних провідних ниток щодо їх електричних властивостей	[35]	Потужність окремих ниток може зробити їх ідеальними кандидатами для таких застосувань, як плетені/вишивані антени або датчики.	-	+
19	Silver-tech 100, поставлена AMANN Group, Німеччина	Вивчення технологічних параметрів вишивки, застосованих до промислового виробництва електронного текстилю	[25]	Досліджувані структури були вишиті тільки на бавовняній тканині	-	+
20	Бавовняні нитки з високою провідністю за допомогою дисперсії графену (Виробник не вказано)	Виготовлення бавовняних ниток з високою провідністю за допомогою дисперсії графену	[6]	Термічна стабільність струмопровідних ниток покращилася, зі зменшенням втрат маси порівняно з необробленими нитками.	-	+
21	Струмопровідна нитка (Виробник не вказано)	Вишивка струмопровідними нитками на тканинах, а також проектування та тривимірний друк з'єднувачів, для мостового з'єднання та створення стабільного з'єднання з системами на основі штифтів.	[41]	-	-	-
22	Silver-Tech (C) 30 AMANN Group Silver-Tech (C) 50 AMANN Group Silver-Tech (C) 120 AMANN Group Silver-Tech (S+) 100 AMANN Group Silver-Tech + (C) 150AMANN Group MADEIRA 12 MADEIRA 40	Перевірка семи комерційно доступних струмопровідних ниток, їх механічних властивостей у системі випробувань на розтяг, а також під впливом вишивки та прання.	[21]	Номінальні параметри, надані виробниками, не відповідають експериментам, і що як вишивка, так і прання впливають на їх продуктивність.	-	+
23	Гібридна нитка поліамід/поліестер зі срібним покриттям, від групи AMANN (Silver-tech, AMANN group, Bönnigheim,	Рукав на стегно, розташовується на передній частині стегна і бере участь у розгинанні	[15]	Сухий електрод, який може збирати біосигнал людського тіла за допомогою традиційної техніки вишивки, замкового стібка та мохового шва, який	-	+

	Німеччина), яка має 28 Tex і питомий опір 530 $\Omega/\text{м}$.	коліна та згинання стегна.		утворює тривимірну структуру, тоді як пряжа утворює петлю.		
24	Струмopовідна нитка (Виробник не вказано)	Електронна сорочка, яку можна прати. Безперервно контролювати пахвову температуру, не заважаючи повсякденній діяльності.	[18]	Електронні текстильні системи з функціональними можливостями живлення ближнього поля та зв'язку, створених за допомогою цифрової вишивки рідких металевих волокон	-	-
25	100% поліамідна жила з срібним покриттям і гібридна провідна нитка з поліестеру (Silver-tech 120, AMANN group, Bönnigheim, Germany),	Датчики на штанині	[16]	Електроди текстильного типу для отримання біологічних сигналів.	-	+
26	Струмopовідна нитка Silver-tech 100, поставлена AMANN Group, Німеччина	Удосконалення провідної нитки	[13]	За допомогою розчину з провідною ниткою можна отримати таку саму форму хвилі, як і з мідними дротами, з великою перевагою використання гнучких ниток, які завдяки своїй текстильній природі є більш придатними для використання в пристроях, що носяться.	-	+
27	Двошарові поліамідні нитки зі срібним покриттям (НС 12 і НС 40) компанія MADEIRA	Струмopовідні доріжки, вишиті ниткою НС 12	[17]	Дослідження впливу параметрів вишивки на продуктивність струмopовідних доріжок.	-	+
28	Струмopовідна нитка (Виробник не вказано)	Текстильний термоелектричний пристрій, який включає струмopовідну шовкову пряжу. Виготовлено тканину нагрівальне полотно з використанням провідної шовкової пряжі як нагрівального елемента	[5]	Розроблено процес нанесення нанодоту Ag і композитного покриття PEDOT:PSS для формування високоомісних струмopовідних шовкових ниток.	-	+
29	Струмopовідна нитка (Виробник не вказано)	Розроблено нанокompозитне провідне чорнило, що складається з графену та еластомеру, полістиролу- <i>b</i> -етилену- <i>co</i> -бутилену- <i>b</i> -стиролу) (SEBS) для отримання механічно стабільних покриттів, які можна мити.	[7]	Електропровідність текстилю з покриттям зберігається протягом більш ніж однієї тисячі циклів згинання. Крім того, гідрофобна природа покриття робить їх стійкими до декількох циклів прання.	-	-
30	Посріблена нейлонова пряжа (Statex Shieldex117/17dtex Німеччина (тобто 17 ниток на поперечний переріз товщиною 117dtex), 2-шарова (тобто скручена з двох кінців).	Струмopовідний рукав.	[26]	Дослідження впливу збільшення циклів прання на електричні характеристики трикотажних датчиків деформації текстилю для кількісної оцінки руху суглоба, спочатку на трикотажному струмopовідному зразку, а потім, коли той самий текстильний датчик в'яжеться в одяг (ліктювий рукав)	-	+

31	Посріблена нейлонова мультифіламентна пряжа для вишивальних струмопровідних ліній від Qingdao Hengtong X-silver Specialty Textile Co., Ltd. (Циндао, Китай).	Дослідження довжини стібка та відстані між стібками на контактний опір верхньої та нижньої провідних ниток.	[14]	Довжина стібка має незначний вплив на контактний опір верхньої та нижньої провідних ниток, а вплив відстані між стібками на опір струмопровідних ліній більший, ніж вплив довжини стібка.	-	+
32	Струмопровідна нитка (Виробник не вказано)	Спеціальний електронний текстильний костюм (E-TeCS)	[31]	Визначення температури, дихання та частоти серцевих скорочень, а також моніторингу фізичної активності навколо людського тіла під час фізичних вправ.	-	+

У опрацьованих наукових публікаціях найчастіше згадується струмопровідна нитка Silver-tech виробництва фірми AMANN (Німеччина), яка становить 21,87% усіх зафіксованих згадок. Це свідчить про її високу популярність у науковому середовищі, зокрема через надійні провідні властивості та стабільну якість. Друге місце за частотою згадок у науковій літературі займають нитки фірми Madeira (Велика Британія, Північний Йоркшир) з показником 15,63%. Їх використовують у текстильних проектах, пов'язаних із машинною вишивкою та інтеграцією провідників у структуру тканини. Менше представлені в публікаціях нитки Shieldex (6,25%) та Bekinox (6,25%), які також мають добрі провідні характеристики та використовуються в сенсорних системах та інтерактивному одязі.

Серед азійських виробників відзначено Qingdao Hengtong X-silver Specialty Textile Co., Ltd. (Циндао, Китай) із часткою 3,12%, що свідчить про поступове входження китайських матеріалів у сферу смарт-текстилю. Таку ж частку мають вироби компанії Soitex (Республіка Корея, провінція Кьонгідо), що позиціонуються як економічна альтернатива для базових прототипів. Також зустрічаються згадки про Marktek Inc. (Честерфілд, штат Мічиган, США) з часткою 3,12%, яка спеціалізується на матеріалах для електромагнітного захисту та струмопровідних волокнах, застосовуваних у високотехнологічних сферах.

Отримані результати свідчать про домінування європейських виробників у науковому полі (рис. 4), а також про розширення географії постачальників струмопровідних ниток, що використовуються у розробках смарт-одягу та інтерактивного текстилю.

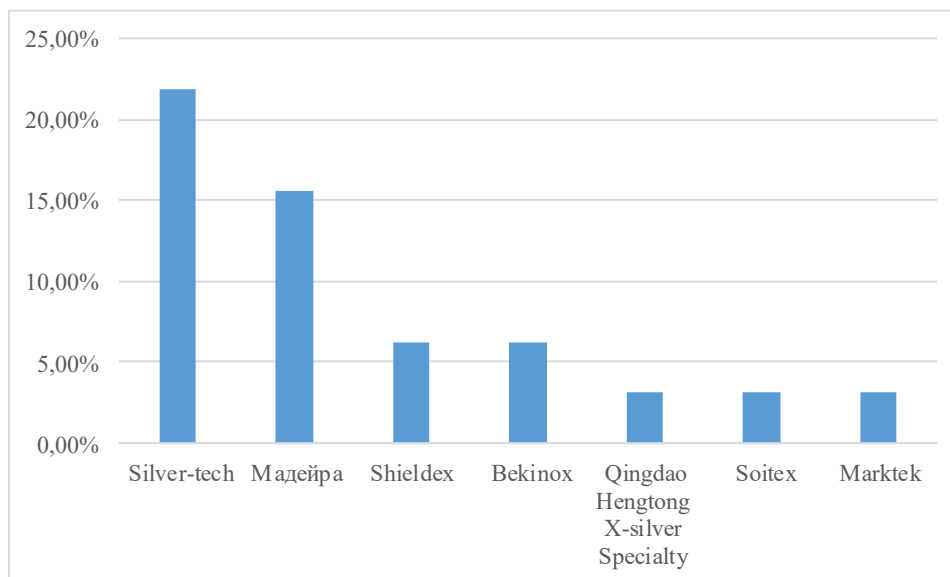


Рис. 4. Частота зустрічності марок струмопровідних ниток у науковій літературі

Таким чином, за результатами огляду встановлено, що 74% від загальної кількості використаних літературних джерел так чи інакше розглядають струмопровідні нитки, їхні властивості, застосування або принципи інтеграції в текстильні вироби. Особливу увагу в наукових публікаціях приділено технологіям вишивки струмопровідною ниткою. Зокрема, 40% джерел містять згадки про різні види вишивки, як ручної, так і машинної, із використанням струмопровідних ниток для створення функціональних або декоративних елементів [11, 20, 9, 28, 12, 29, 8, 30, 35, 25, 21, 15, 18]. Це свідчить про актуальність вишивки як способу інтеграції електропровідних компонентів у текстильну структуру та про її важливу роль у розробці елементів смарт-одягу.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Після аналізу літературних джерел, а також вивчення інформації, представленої на веб-сайтах комерційного спрямування, для наступних досліджень у цьому напрямі доцільно обрати струмопровідну нитку Silver-tech виробництва компанії AMANN (Німеччина). Вибір зумовлений наявністю значної кількості досліджень у контексті електропровідності, гнучкості, стабільності у текстильних структурах, а також сумісності з ручною та машинною обробкою. З іншого боку, її наявність на українському ринку забезпечує практичну доступність для локального виробництва й навчально-дослідної діяльності. Отже, вибір нитки Silver-tech дозволяє ефективно поєднати теоретичну базу з прикладними завданнями дослідження у сфері смарт-текстилю.

Водночас результати контент-аналізу соціальних мереж виявили, що там домінує фрагментарна візуальна подача інформації про одяг зі світловими ефектами, яка, як правило, не супроводжується технічним описом (зокрема щодо типів ниток, джерел живлення або методів монтажу), що створює інформаційний розрив між науковими дослідженнями та практикою популяризаторського використання. Представленість виробників струмопровідних ниток із різних країн (Німеччина, Велика Британія, США, Китай, Південна Корея) підтверджує глобальний характер розвитку цієї галузі, водночас підкреслюючи необхідність систематизації знань для забезпечення цілісного підходу до проектування та виготовлення шоу- та сценічного одягу з інтегрованими електронними компонентами.

Створена база даних інформаційних ресурсів, яка класифікує та узагальнює інформацію про інтелектуальний текстиль із різномірних джерел, готова для впровадження в навчальний процес здобувачів освіти спеціальності "Технології легкої промисловості" у якості наочного посібника, що демонструє взаємозв'язок між науковою теорією та комерційною практикою, дозволяючи студентам формувати аналітичні навички та розробляти власні проекти, обґрунтовуючи вибір матеріалів і технологій на основі систематизованої інформації. База даних відкрита, може постійно наповнюватись актуальною інформацією, формуючи вихідні дані для бази знань системи прийняття рішень у процесі проектування смарт-одягу. Таким чином, використання цієї бази даних у наукових і навчальних цілях закладає основу для розробки практичних рекомендацій щодо конкретних проектних ситуацій створення сценічних костюмів з інтегрованими світловими ефектами.

Література

1. Darabi S. et al. Green Conducting Cellulose Yarns for Machine-Sewn Electronic Textiles // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2020. – Vol. 12, no. 50. – P. 56403–56412. – URL: <https://doi.org/10.1021/acsami.0c15399> (дата звернення: 28.08.2024).
2. Antje K. Textile Conductive Thread with Permanent and Uniform Electrical Properties in the High-OHM Range // *Journal of Textile Science & Fashion Technology*. – 2021. – Vol. 8, no. 5. – URL: <https://doi.org/10.33552/jtsft.2021.08.000700> (дата звернення: 28.08.2024).
3. Zheng Y. et al. Polar poly(n-butyl acrylate)-g-polyacrylonitrile elastomer with high temperature elasticity and healability as flexible electronic substrate // *Fashion and Textiles*. – 2021. – Vol. 8, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-020-00235-4> (дата звернення: 28.08.2024).
4. Hwang B., Matteini P. Review on dry film photoresist-based patterning of Ag nanowire flexible electrodes for wearable electronics // *Fashion and Textiles*. – 2022. – Vol. 9, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-022-00303-x> (дата звернення: 28.08.2024).
5. Hwang B. et al. Machine-Washable Conductive Silk Yarns with a Composite Coating of Ag Nanowires and PEDOT:PSS // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2020. – Vol. 12, no. 22. – P. 25518–25527. – URL: <https://doi.org/10.1021/acsami.0c04316> (дата звернення: 28.08.2024).
6. Alhashmi Alamer F. et al. Advancements in Conductive Cotton Thread-Based Graphene: A New Generation of Flexible, Lightweight, and Cost-Effective Electronic Applications // *Journal of Composites Science*. – 2023. – Vol. 7, no. 11. – P. 476. – URL: <https://doi.org/10.3390/jcs7110476> (дата звернення: 28.08.2024).
7. Salavagione H. J. et al. Scalable graphene-based nanocomposite coatings for flexible and washable conductive textiles // *Carbon*. – 2020. – Vol. 167. – P. 495–503. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.05.108> (дата звернення: 28.08.2024).
8. Alshabouna F. et al. PEDOT:PSS-modified cotton conductive thread for mass manufacturing of textile-based electrical wearable sensors by computerized embroidery // *Materials Today*. – 2022. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2022.07.015> (дата звернення: 28.08.2024).
9. Cho S. et al. Machine embroidery of light-emitting textiles with multicolor electroluminescent threads // *Science Advances*. – 2024. – Vol. 10, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1126/sciadv.adk4295> (дата звернення: 28.08.2024).
10. Tang Y. et al. Colorful Conductive Threads for Wearable Electronics: Transparent Cu–Ag Nanonets // *Advanced Science*. – 2022. – P. 2201111. – URL: <https://doi.org/10.1002/advs.202201111> (дата звернення: 28.08.2024).

11. Labeeb A. et al. Embroidery on Textiles as a Smart Solution for Wearable Applications // *International Design Journal*. – 2019. – Vol. 9, no. 2. – P. 53–58. – URL: DOI:10.21608/ij.2019.83296 (дата звернення: 28.08.2024).
12. Eike R. J. Technical Considerations and Specifications for Conductive Machine Embroidery // *Trends in Textile Engineering & Fashion Technology*. – 2020. – Vol. 6, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.31031/tteft.2020.06.000626> (дата звернення: 28.08.2024).
13. Volpes G. et al. Feasibility of conductive embroidered threads for I2C sensors in microcontroller-based wearable electronics // *Flexible and Printed Electronics*. – 2023. – URL: <https://doi.org/10.1088/2058-8585/acbbdc> (дата звернення: 28.08.2024).
14. Zhang Y. et al. The equivalent resistance model of double-layer embroidered conductive lines on nonwoven fabric // *Journal of Industrial Textiles*. – 2021. – URL: <https://doi.org/10.1177/15280837211049481> (дата звернення: 28.08.2024).
15. Kim H. et al. Characterization of embroidered textile-based electrode for EMG smart wear according to stitch technique // *Fashion and Textiles*. – 2023. – Vol. 10, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-023-00351-x> (дата звернення: 28.08.2024).
16. Rho S. et al. Fabrication and Evaluation of Embroidery-Based Electrode for EMG Smart Wear Using Moss Stitch Technique // *Sensors*. – 2023. – Vol. 23, no. 21. – P. 9012. – URL: <https://doi.org/10.3390/s23219012> (дата звернення: 28.08.2024).
17. Zheng Y. et al. Performance evaluation of conductive tracks in fabricating e-textiles by lock-stitch embroidery // *Journal of Industrial Textiles*. – 2020. – P. 152808372093728. – URL: <https://doi.org/10.1177/1528083720937289> (дата звернення: 28.08.2024).
18. Lin R. et al. Digitally-embroidered liquid metal electronic textiles for wearable wireless systems // *Nature Communications*. – 2022. – Vol. 13, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29859-4> (дата звернення: 28.08.2024).
19. Hoerr M., Zimmerman J. Digital embroidery // *Smart Clothes and Wearable Technology. The Textile Institute Book Series*. – 2nd ed. – 2023. – P. 153–189. – DOI: 10.1016/B978-0-12-819526-0.00020-5 (дата звернення: 28.08.2024).
20. Endow S. et al. Embr: A Creative Framework for Hand Embroidered Liquid Crystal Textile Displays // *CHI '22: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. – New Orleans LA, USA. – New York: ACM, 2022. – URL: <https://doi.org/10.1145/3491102.3502117> (дата звернення: 28.08.2024).
21. Stavrakis A. K., Simić M., Stojanović G. M. A Study of the Performance Degradation of Conductive Threads Based on the Effects of Tensile Forces and Repeated Washing // *Polymers*. – 2022. – Vol. 14, no. 21. – P. 4581. – URL: <https://doi.org/10.3390/polym14214581> (дата звернення: 28.08.2024).
22. Truong T. et al. Wearable capacitive pressure sensor using interdigitated capacitor printed on fabric // *Fashion and Textiles*. – 2022. – Vol. 9, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-022-00320-w> (дата звернення: 28.08.2024).
23. Lam N. Y. K. et al. Washability and abrasion resistance of illuminative knitted e-textiles with POFs and silver-coated conductive yarns // *Fashion and Textiles*. – 2022. – Vol. 9, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-022-00313-9> (дата звернення: 28.08.2024).
24. Jang J., Kim J. Prediction of Electrical Resistance with Conductive Sewing Patterns by Combining Artificial Neural Networks and Multiple Linear Regressions // *Polymers*. – 2023. – Vol. 15, no. 20. – P. 4138. – URL: <https://doi.org/10.3390/polym15204138> (дата звернення: 28.08.2024).
25. Zafar H. et al. Influence of stitch type division and geometry on the electrical properties of conductive embroidered structures // *Journal of Industrial Textiles*. – 2023. – Vol. 53. – URL: <https://doi.org/10.1177/15280837231206556> (дата звернення: 28.08.2024).
26. Isaia C. et al. The effect of washing on the electrical performance of knitted textile strain sensors for quantifying joint motion // *Journal of Industrial Textiles*. – 2021. – URL: <https://doi.org/10.1177/15280837211059210> (дата звернення: 28.08.2024).
27. Song Y. et al. Design framework for a seamless smart glove using a digital knitting system // *Fashion and Textiles*. – 2021. – Vol. 8, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-020-00237-2> (дата звернення: 28.08.2024).
28. Qureshi S. et al. Silver Conductive Threads-Based Embroidered Electrodes on Textiles as Moisture Sensors for Fluid Detection in Biomedical Applications // *Materials*. – 2021. – Vol. 14, no. 24. – P. 7813. – URL: <https://doi.org/10.3390/ma14247813> (дата звернення: 28.08.2024).
29. Choi H., Yoo S. Development of human-touch smart armband for tele-haptic communication using a fabric-based soft pneumatic actuator // *Fashion and Textiles*. – 2023. – Vol. 10, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-023-00350-y> (дата звернення: 28.08.2024).
30. Colli Alfaro J. G., Trejos A. L. Design and Fabrication of Embroidered Textile Strain Sensors: An Alternative to Stitch-Based Strain Sensors // *Sensors*. – 2023. – Vol. 23, no. 3. – P. 1503. – URL: <https://doi.org/10.3390/s23031503> (дата звернення: 28.08.2024).
31. Wicaksono I. et al. A tailored, electronic textile conformable suit for large-scale spatiotemporal physiological sensing in vivo // *npj Flexible Electronics*. – 2020. – Vol. 4, Article 5. – DOI: 10.1038/s41528-020-0068-y (дата звернення: 28.08.2024).

32. Kim M., Shin H., Jekal M. Braille glove design toward interdisciplinary approach for visually impaired people: developing independent sensing design with MXene and embroidery // *Fashion and Textiles*. – 2024. – Vol. 11, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-024-00383-x> (дата звернення: 28.08.2024).
33. Kim E. T., Kim S. Development of smart insole for cycle time measurement in sewing process // *Fashion and Textiles*. – 2021. – Vol. 8, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-020-00234-5> (дата звернення: 28.08.2024).
34. Marterer V. et al. Wearable textile antennas: investigation on material variants, fabrication methods, design and application // *Fashion and Textiles*. – 2024. – Vol. 11, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-023-00369-1> (дата звернення: 28.08.2024).
35. Stavrakis A. K. et al. Electrical Characterization of Conductive Threads for Textile Electronics // *Electronics*. – 2021. – Vol. 10, no. 8. – P. 967. – URL: <https://doi.org/10.3390/electronics10080967> (дата звернення: 28.08.2024).
36. Matsuhisa N., Niu S., O'Neill S. J. K., Kang J., Ochiai Y., Katsumata T., Wu H.-C., Ashizawa M., Wang G.-J. N., Zhong D., Wang X., Gong X., Ning R., Gong H., You I., Zheng Y., Zhang Z., Tok J. B.-H., Chen X., Bao Z. High-frequency and intrinsically stretchable polymer diodes // *Nature*. – 2021. – Vol. 600, No. 7888. – P. 246–252. – <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04053-6>.
37. Caya M. V. et al. Development of conductive thread heating element on wireless heating e-textile belt for thermotherapy application // *Automatika*. – 2021. – Vol. 62, no. 3. – P. 293–299. – URL: <https://doi.org/10.1080/00051144.2021.1943186> (дата звернення: 28.08.2024).
38. Ryan J. D., Mengistie D. A., Gabrielson R., Lund A., Müller C. Machine-washable PEDOT:PSS dyed silk yarns for electronic textiles // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2017. – Vol. 9, No. 10. – P. 9045–9050. – <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28245105/#:~:text=PMCID%3A%20PMC5355901-,DOI:10.1021/acsami.7b00530>
39. Mukai Y., Suh M. Development of a conformal woven fabric antenna for wearable breast hyperthermia // *Fashion and Textiles*. – 2021. – Vol. 8, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-020-00231-8> (дата звернення: 28.08.2024).
40. Yu A., Sukigara S. Investigation of materials for palm and dorsal of anti-vibration gloves for thermal comfort // *Fashion and Textiles*. – 2023. – Vol. 10, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-023-00340-0> (дата звернення: 28.08.2024).
41. Milić L. et al. Investigation of electrical performances of textile conductive lines under different connector configurations and external influences // *Textile Research Journal*. – 2022. – P. 004051752211455. – URL: <https://doi.org/10.1177/00405175221145553> (дата звернення: 28.08.2024).
42. Захаркевич О. В., Кошевка Ю. В., Кулешова С. Г., Швець Г. С. Smart Fashion: гід у світі цифрової моди: монографія. – Хмельницький : Хмельницький національний університет, 2023. – 232 с.
43. Poluchovich I. et al. Analysis of the smart clothing technologies in dance costume designing // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2021. – Vol. 1031, no. 1. – P. 012032. – <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/1031/1/012032>.

References

1. Darabi S. et al. Green Conducting Cellulose Yarns for Machine-Sewn Electronic Textiles // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2020. – Vol. 12, no. 50. – P. 56403–56412. – URL: <https://doi.org/10.1021/acsami.0c15399> (дата звернення: 28.08.2024).
2. Antje K. Textile Conductive Thread with Permanent and Uniform Electrical Properties in the High-OHM Range // *Journal of Textile Science & Fashion Technology*. – 2021. – Vol. 8, no. 5. – URL: <https://doi.org/10.33552/jtsft.2021.08.000700> (дата звернення: 28.08.2024).
3. Zheng Y. et al. Polar poly(n-butyl acrylate)-g-polyacrylonitrile elastomer with high temperature elasticity and healability as flexible electronic substrate // *Fashion and Textiles*. – 2021. – Vol. 8, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-020-00235-4> (дата звернення: 28.08.2024).
4. Hwang B., Matteini P. Review on dry film photoresist-based patterning of Ag nanowire flexible electrodes for wearable electronics // *Fashion and Textiles*. – 2022. – Vol. 9, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-022-00303-x> (дата звернення: 28.08.2024).
5. Hwang B. et al. Machine-Washable Conductive Silk Yarns with a Composite Coating of Ag Nanowires and PEDOT:PSS // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2020. – Vol. 12, no. 22. – P. 25518–25527. – URL: <https://doi.org/10.1021/acsami.0c04316> (дата звернення: 28.08.2024).
6. Alhashmi Alamer F. et al. Advancements in Conductive Cotton Thread-Based Graphene: A New Generation of Flexible, Lightweight, and Cost-Effective Electronic Applications // *Journal of Composites Science*. – 2023. – Vol. 7, no. 11. – P. 476. – URL: <https://doi.org/10.3390/jcs7110476> (дата звернення: 28.08.2024).
7. Salavagione H. J. et al. Scalable graphene-based nanocomposite coatings for flexible and washable conductive textiles // *Carbon*. – 2020. – Vol. 167. – P. 495–503. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.05.108> (дата звернення: 28.08.2024).
8. Alshabouna F. et al. PEDOT:PSS-modified cotton conductive thread for mass manufacturing of textile-based electrical wearable sensors by computerized embroidery // *Materials Today*. – 2022. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2022.07.015> (дата звернення: 28.08.2024).
9. Cho S. et al. Machine embroidery of light-emitting textiles with multicolor electroluminescent threads // *Science Advances*. – 2024. – Vol. 10, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1126/sciadv.adk4295> (дата звернення: 28.08.2024).
10. Tang Y. et al. Colorful Conductive Threads for Wearable Electronics: Transparent Cu–Ag Nanonets // *Advanced Science*. – 2022. – P. 2201111. – URL: <https://doi.org/10.1002/advsc.202201111> (дата звернення: 28.08.2024).
11. Labeeb A. et al. Embroidery on Textiles as a Smart Solution for Wearable Applications // *International Design Journal*. – 2019. – Vol. 9, no. 2. – P. 53–58. – URL: DOI:10.21608/idx.2019.83296 (дата звернення: 28.08.2024).
12. Eike R. J. Technical Considerations and Specifications for Conductive Machine Embroidery // *Trends in Textile Engineering & Fashion Technology*. – 2020. – Vol. 6, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.31031/tteft.2020.06.000626> (дата звернення: 28.08.2024).

13. Volpes G. et al. Feasibility of conductive embroidered threads for I2C sensors in microcontroller-based wearable electronics // *Flexible and Printed Electronics*. – 2023. – URL: <https://doi.org/10.1088/2058-8585/acbbdc> (дата звернення: 28.08.2024).
14. Zhang Y. et al. The equivalent resistance model of double-layer embroidered conductive lines on nonwoven fabric // *Journal of Industrial Textiles*. – 2021. – URL: <https://doi.org/10.1177/15280837211049481> (дата звернення: 28.08.2024).
15. Kim H. et al. Characterization of embroidered textile-based electrode for EMG smart wear according to stitch technique // *Fashion and Textiles*. – 2023. – Vol. 10, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-023-00351-x> (дата звернення: 28.08.2024).
16. Rho S. et al. Fabrication and Evaluation of Embroidery-Based Electrode for EMG Smart Wear Using Moss Stitch Technique // *Sensors*. – 2023. – Vol. 23, no. 21. – P. 9012. – URL: <https://doi.org/10.3390/s23219012> (дата звернення: 28.08.2024).
17. Zheng Y. et al. Performance evaluation of conductive tracks in fabricating e-textiles by lock-stitch embroidery // *Journal of Industrial Textiles*. – 2020. – P. 152808372093728. – URL: <https://doi.org/10.1177/1528083720937289> (дата звернення: 28.08.2024).
18. Lin R. et al. Digitally-embroidered liquid metal electronic textiles for wearable wireless systems // *Nature Communications*. – 2022. – Vol. 13, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29859-4> (дата звернення: 28.08.2024).
19. Hoerr M., Zimmerman J. Digital embroidery // *Smart Clothes and Wearable Technology*. The Textile Institute Book Series. – 2nd ed. – 2023. – P. 153–189. – DOI: 10.1016/B978-0-12-819526-0.00020-5 (дата звернення: 28.08.2024).
20. Endow S. et al. Embr: A Creative Framework for Hand Embroidered Liquid Crystal Textile Displays // *CHI '22: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. – New Orleans LA, USA. – New York: ACM, 2022. – URL: <https://doi.org/10.1145/3491102.3502117> (дата звернення: 28.08.2024).
21. Stavrakis A. K., Simić M., Stojanović G. M. A Study of the Performance Degradation of Conductive Threads Based on the Effects of Tensile Forces and Repeated Washing // *Polymers*. – 2022. – Vol. 14, no. 21. – P. 4581. – URL: <https://doi.org/10.3390/polym14214581> (дата звернення: 28.08.2024).
22. Truong T. et al. Wearable capacitive pressure sensor using interdigitated capacitor printed on fabric // *Fashion and Textiles*. – 2022. – Vol. 9, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-022-00320-w> (дата звернення: 28.08.2024).
23. Lam N. Y. K. et al. Washability and abrasion resistance of illuminative knitted e-textiles with POFs and silver-coated conductive yarns // *Fashion and Textiles*. – 2022. – Vol. 9, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-022-00313-9> (дата звернення: 28.08.2024).
24. Jang J., Kim J. Prediction of Electrical Resistance with Conductive Sewing Patterns by Combining Artificial Neural Networks and Multiple Linear Regressions // *Polymers*. – 2023. – Vol. 15, no. 20. – P. 4138. – URL: <https://doi.org/10.3390/polym15204138> (дата звернення: 28.08.2024).
25. Zafar H. et al. Influence of stitch type division and geometry on the electrical properties of conductive embroidered structures // *Journal of Industrial Textiles*. – 2023. – Vol. 53. – URL: <https://doi.org/10.1177/15280837231206556> (дата звернення: 28.08.2024).
26. Isaia C. et al. The effect of washing on the electrical performance of knitted textile strain sensors for quantifying joint motion // *Journal of Industrial Textiles*. – 2021. – URL: <https://doi.org/10.1177/15280837211059210> (дата звернення: 28.08.2024).
27. Song Y. et al. Design framework for a seamless smart glove using a digital knitting system // *Fashion and Textiles*. – 2021. – Vol. 8, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-020-00237-2> (дата звернення: 28.08.2024).
28. Qureshi S. et al. Silver Conductive Threads-Based Embroidered Electrodes on Textiles as Moisture Sensors for Fluid Detection in Biomedical Applications // *Materials*. – 2021. – Vol. 14, no. 24. – P. 7813. – URL: <https://doi.org/10.3390/ma14247813> (дата звернення: 28.08.2024).
29. Choi H., Yoo S. Development of human-touch smart armband for tele-haptic communication using a fabric-based soft pneumatic actuator // *Fashion and Textiles*. – 2023. – Vol. 10, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-023-00350-y> (дата звернення: 28.08.2024).
30. Colli Alfaro J. G., Trejos A. L. Design and Fabrication of Embroidered Textile Strain Sensors: An Alternative to Stitch-Based Strain Sensors // *Sensors*. – 2023. – Vol. 23, no. 3. – P. 1503. – URL: <https://doi.org/10.3390/s23031503> (дата звернення: 28.08.2024).
31. Wicaksono I. et al. A tailored, electronic textile conformable suit for large-scale spatiotemporal physiological sensing in vivo // *npj Flexible Electronics*. – 2020. – Vol. 4, Article 5. – DOI: 10.1038/s41528-020-0068-y (дата звернення: 28.08.2024).
32. Kim M., Shin H., Jekal M. Braille glove design toward interdisciplinary approach for visually impaired people: developing independent sensing design with MXene and embroidery // *Fashion and Textiles*. – 2024. – Vol. 11, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-024-00383-x> (дата звернення: 28.08.2024).
33. Kim E. T., Kim S. Development of smart insole for cycle time measurement in sewing process // *Fashion and Textiles*. – 2021. – Vol. 8, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-020-00234-5> (дата звернення: 28.08.2024).
34. Marterer V. et al. Wearable textile antennas: investigation on material variants, fabrication methods, design and application // *Fashion and Textiles*. – 2024. – Vol. 11, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-023-00369-1> (дата звернення: 28.08.2024).
35. Stavrakis A. K. et al. Electrical Characterization of Conductive Threads for Textile Electronics // *Electronics*. – 2021. – Vol. 10, no. 8. – P. 967. – URL: <https://doi.org/10.3390/electronics10080967> (дата звернення: 28.08.2024).
36. Matsuhisa N., Niu S., O'Neill S. J. K., Kang J., Ochiai Y., Katsumata T., Wu H.-C., Ashizawa M., Wang G.-J. N., Zhong D., Wang X., Gong X., Ning R., Gong H., You I., Zheng Y., Zhang Z., Tok J. B.-H., Chen X., Bao Z. High-frequency and intrinsically stretchable polymer diodes // *Nature*. – 2021. – Vol. 600, No. 7888. – P. 246–252. – <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04053-6>.
37. Caya M. V. et al. Development of conductive thread heating element on wireless heating e-textile belt for thermotherapy application // *Automatika*. – 2021. – Vol. 62, no. 3. – P. 293–299. – URL: <https://doi.org/10.1080/00051144.2021.1943186> (дата звернення: 28.08.2024).
38. Ryan J. D., Mengistie D. A., Gabrielsson R., Lund A., Müller C. Machine-washable PEDOT:PSS dyed silk yarns for electronic textiles // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2017. – Vol. 9, No. 10. – P. 9045–9050. – <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28245105/#:~:text=PMCID%3A%20PMC5355901-,DOI:10.1021/acsami.7b00530>
39. Mukai Y., Suh M. Development of a conformal woven fabric antenna for wearable breast hyperthermia // *Fashion and Textiles*. – 2021. – Vol. 8, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-020-00231-8> (дата звернення: 28.08.2024).
40. Yu A., Sukigara S. Investigation of materials for palm and dorsal of anti-vibration gloves for thermal comfort // *Fashion and Textiles*. – 2023. – Vol. 10, no. 1. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40691-023-00340-0> (дата звернення: 28.08.2024).
41. Milić L. et al. Investigation of electrical performances of textile conductive lines under different connector configurations and external influences // *Textile Research Journal*. – 2022. – P. 0040517522114555. – URL: <https://doi.org/10.1177/00405175221145553> (дата звернення: 28.08.2024).
42. Zakharkovych O. V., Koshevko Y. V., Kuleshova S. G., Shvets G. S. Smart Fashion: a guide to the world of digital fashion: monograph. – Khmelnytskyi: Khmelnytskyi National University, 2023. – 232 p.
43. Poluchovich I. et al. Analysis of the smart clothing technologies in dance costume designing // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2021. – Vol. 1031, no. 1. – P. 012032. – <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/1031/1/012032>.