

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ДИЗАЙНУ

*Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису*

ЛЮКЛЯН НАДІЯ РОМАНІВНА

УДК 687.01:[001.895:004.383.8:004.946

ДИСЕРТАЦІЯ


**СМАРТТЕХНОЛОГІЇ В ДИЗАЙНІ ОДЯГУ:
ЕВОЛЮЦІЯ, ТИПОЛОГІЯ, СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ**

Спеціальність 022 Дизайн

Галузь знань 02 Культура і мистецтво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело


_____ Н.Р. Люклян

Науковий керівник **Пашкевич Калина Лівіанівна,**
доктор технічних наук, професор

Київ – 2026

АНОТАЦІЯ

Люклян Н.Р. Смарттехнології в дизайні одягу: еволюція, типологія, сучасні тенденції. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 022 Дизайн (галузь знань 02 Культура і мистецтво). – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2026.

Дисертаційне дослідження присвячене комплексному вивченню актуальної проблеми застосування смарттехнологій у дизайні одягу в контексті мистецтвознавчої науки. Сучасний розвиток технологій трансформує традиційні уявлення про функції та можливості одягу, перетворюючи його на багатофункціональний, адаптивний і інтерактивний продукт. Інтеграція електронних і цифрових компонентів у його структуру зумовлює формування нових підходів до дизайн-проектування, у межах яких виріб розглядається як цілісна система, що поєднує функціональні, естетичні та технологічні характеристики. Це відкриває нові можливості для розвитку одягу як інноваційного продукту та визначає потребу в науковому осмисленні зазначених процесів.

У роботі визначено основні напрями розвитку смарттехнологій, досліджено передумови їх виникнення та етапи еволюції в дизайні одягу. Здійснено систематизацію та розроблено типології смартодягу на основі аналізу сфер застосування, виконуваних функцій і особливостей його структури. Проаналізовано вплив інтеграції електронних і цифрових компонентів на формування дизайн-проектних рішень, зокрема на конструктивні, функціональні та естетичні характеристики виробів. Визначено сучасні тенденції та інноваційні рішення у дизайні смартрозробок, а також досліджено актуальні й перспективні напрями розвитку смарттехнологій у дизайні одягу.

Таким чином, результати дослідження смарттехнологій у дизайні одягу доповнюють наукову базу, необхідну для виявлення закономірностей

функціонування сучасного дизайну одягу, та сприяють розширенню знань у цій сфері. Водночас систематизація досвіду застосування смарттехнологій у розробці одягу в творчості закордонних дизайнерів і брендів створює підґрунтя для адаптації міжнародних інноваційних підходів у вітчизняній дизайн-практиці.

Робота складається зі вступу, трьох розділів із висновками, загальних висновків, списку використаних літературних джерел, додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність та розглянуто теоретико-методологічні засади дослідження; вказано на зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; визначено мету, завдання, об'єкт, предмет, хронологічні межі та методи дослідження; окреслено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; наведено відомості щодо апробації та впровадження результатів роботи; зазначено особистий внесок здобувача та подано структуру й обсяг дисертації.

У **першому розділі** проведено аналіз наукової літератури за темою роботи, виокремлено джерела, що становлять фундаментальні та теоретичні праці й охоплюють дослідження історичного розвитку та еволюції моди й одягу, становлення та розвитку смарттехнологій у дизайні одягу, існуючих класифікацій і типологій одягу, різновидів смартодягу та інноваційних текстильних матеріалів, а також принципів і вимог до дизайн-проектування традиційного та смартодягу. Поряд із цим виділено дослідження, присвячені сучасному стану проблематики, новітнім розробкам, експериментальним проектам і технологічним інноваціям у дизайні одягу. Встановлено, що попри значну кількість наукових публікацій, переважна більшість досліджень смарттехнологій у дизайні одягу зосереджена на технічних аспектах, тоді як роботи, орієнтовані на дизайнерський підхід, залишаються недостатньо представленими.

Сформовано репрезентативну базу матеріалів дослідження з метою забезпечення об'єктивності результатів та класифіковано її на сім груп джерел: фундаментальні й теоретичні наукові праці; публікації, присвячені сучасному стану проблеми; веб-ресурси виробників та інноваційних компаній; електронні

ресурси професійних, науково-популярних і галузевих видань; патенти на розробки; міжнародні та галузеві стандарти й нормативні документи; звіти міжнародних і галузевих організацій, аналітичні та ринкові дослідження. Обґрунтовано застосування комплексу загальнонаукових і спеціальних методів дослідження, зокрема аналізу, синтезу, порівняння, абстрагування, узагальнення, прогнозування, історико-хронологічного, структурно-функціонального, структурно-описового, композиційного та художньо-стилістичного аналізу, а системний підхід визначено як універсальну методологічну основу дослідження смарттехнологій у дизайні одягу.

У **другому розділі** узагальнено та систематизовано теоретичні й аналітичні положення, що розкривають сутність, розвиток, напрями, типології, структуру та особливості застосування смарттехнологій у дизайні одягу. Визначено, що до основних напрямів розвитку смарттехнологій належать *Інтернет речей, штучний інтелект, машинне навчання, аналітика великих даних, хмарні обчислення та робототехніка*. Встановлено, що в контексті нашого дослідження смарттехнології слід розглядати через *носимі пристрої*, що є підкатегорією Інтернету речей. Відповідно до систематизованої інформації щодо класифікації носимих пристроїв за рівнем інтеграції в тіло користувача, виділено текстильні носимі пристрої, до яких належить *смартодяг*, дослідження якого є важливим в контексті дизайну одягу.

Розглянуто процес становлення та розвитку смарттехнологій у дизайні одягу та визначено, що науково-технологічний прогрес був основним чинником їх виникнення. Період розвитку смарттехнологій поділено на три етапи: початковий (1960-1999 рр.), що характеризується появою перших винаходів і експериментальних досліджень; другий (2000-2009 рр.), який відзначається активізацією практично орієнтованих розробок; та третій (2010-2020 рр.), пов'язаний зі створенням удосконалених виробів із інтеграцією додаткових цифрових і інтелектуальних технологій.

Проаналізовано різновиди смартодягу, поділено їх за сферою використання та функціями, які вони виконують: *для спорту та фітнесу,*

охорони здоров'я, військової й оборонної сфер, забезпечення безпеки, розважальної та модної індустрії, освітньої діяльності, а також для повсякденного використання.

Встановлено, що смартодяг має складну структуру, у якій поєднуються технологічна та матеріальна складові. У технічній складовій смартодягу виокремлено чотири взаємопов'язані підсистеми з відповідними модулями, що виконують критично важливі функції, такі як *збір та отримання інформації, передачу та обробку даних, прийняття та реалізацію рішень, а також енергозабезпечення та зберігання даних.* Розглянуто матеріальну складову смартодягу, що передбачає використання *традиційного, функціонального смарт- та електронного текстилю.* Надано класифікації смарттекстилю за рівнем розвитку та функціями, а також електронного текстилю за ступенем інтеграції. Відповідно до технічної та матеріальної складових, сформовано типології смартодягу за: *типом застосовуваних датчиків та їх гнучкості, способами передачі даних, кріплення модулів обробки даних, керування, відображення інформації, живлення, за технологіями зберігання даних, а також за типом текстильних матеріалів.*

Виділено чотири ключові аспекти дизайн-проектування смартодягу: *естетичні, функціональні, ергономічні та високотехнологічні.* Запропоновано удосконалений процес дизайн-проектування смартодягу, що включає структуровано-логічну послідовність таких етапів: визначення завдання на проектування; виконання передпроектних досліджень; розробку ескізу та первинної схеми роботи моделі; створення першого та другого макетів із внесенням коригувань; виготовлення остаточних лекал і схем інтегрованих пристроїв; затвердження та виготовлення остаточного зразка; розробку проектно-конструкторської документації та впровадження моделі у виробництво.

У **третьому розділі** визначено сучасні тенденції та перспективи розвитку смарттехнологій у дизайні одягу. Розглянуто сучасні закордонні смартрозробки за останні п'ять років, що дозволило встановити актуальні тенденції розвитку

галузі, серед яких визначено провідну роль *сфери охорони здоров'я*, де виробни орієнтовані переважно на моніторинг фізіологічних і поведінкових показників, *інтеграцію електронних компонентів у структуру текстильних матеріалів* для підвищення зручності використання одягу, *впровадження технологій бездротового живлення та енергогенеруючих елементів* для забезпечення автономності виробів, а також *використання бездротових каналів передачі даних* і зростання застосування цифрових технологій, що підвищують адаптивність і функціональність смартодягу. Проаналізовано сучасні вітчизняні смартрозробки та встановлено, що цей напрям представлений переважно виробами з функцією підігріву, що свідчить про недостатній рівень розвитку смарттехнологій у дизайні одягу в Україні, попри їхню значну актуальність, особливо в умовах війни.

Встановлено, що дизайн-проекування smartвиробів потребує комплексного підходу, який передбачає узгоджене врахування естетичних, функціональних, ергономічних і технологічних аспектів. Запропоновано шість критеріїв оцінювання smartвиробів, що дозволяють визначити якість, ефективність і доцільність дизайн-проектних рішень. Відповідно до проведеного аналізу сучасних розробок виокремлено рішення, які застосовують дизайнери для створення високоякісних виробів.

Обґрунтовано доцільність застосування концепції сталого розвитку у процесі розробки смартодягу, що забезпечує раціональне використання ресурсів, зменшення відходів, подовження життєвого циклу виробу. Визначено екодизайн як один із основних підходів до забезпечення сталого розвитку smartвиробів, завдяки якому ще на стадії концептуального проектування закладаються комплексні рішення, що впливають на весь життєвий цикл виробу та сприяють зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Серед основних напрямів реалізації принципів екодизайну виділено застосування *екологічно орієнтованих текстильних матеріалів та електронних компонентів*, а також впровадження у процес дизайн-проекування підходів *модульної конструкції, забезпечення сумісності, оновлюваності компонентів та можливості*

кастомізації виробу.

Встановлено, що зростання інтересу до смарттехнологій у сфері дизайну одягу зумовлене такими основними чинниками, як розвиток технологічних інновацій, орієнтація на індивідуалізацію та користувацький досвід, інтеграція принципів сталого розвитку та міждисциплінарна співпраця. Визначено, що на темпи та напрями розвитку смарттехнологій у дизайні одягу суттєвий вплив має регіональна специфіка, що проявляється у домінування окремих напрямів у різних регіонах. До перспективних напрямів розвитку смарттехнологій у дизайні одягу віднесено *одяг зі штучним інтелектом, нейроінтерактивний одяг, екзоскелети та робототехнічні системи, «невидиму» електроніку, енергоавтономний і біоорієнтований смартодяг*, які мають високий інноваційний потенціал та здатні суттєво розширити характеристики та можливості одягу.

Ключові слова: *дизайн одягу, смарттехнології, носимі пристрої, смартодяг, смарттекстиль, електронний текстиль, медичне застосування, сучасні технології, інновації в дизайні одягу, історія моди, тенденції моди.*

ABSTRACT

Liuklian N. R. Smart Technologies in Fashion Design: Evolution, Typology, and Contemporary Trends. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for a Doctor of Philosophy (PhD) in the specialty 022 Design. – Kyiv National University of Technologies and Design. Kyiv, 2026.

The dissertation research is devoted to a comprehensive study of the current problem of art historical analysis of smart technologies in clothing design. The modern development of technologies transforms traditional ideas about the functions and capabilities of clothing, turning it into a multifunctional, adaptive and interactive product. The integration of electronic and digital components into its structure leads to the formation of new approaches to design, within which the product is considered as a holistic system that combines functional, aesthetic and technological characteristics. This opens up new opportunities for the development of clothing as an innovative product and determines the need for scientific understanding of these processes.

The work identifies the main directions of development of smart technologies, investigates the prerequisites for their emergence and stages of evolution in clothing design. A systematization and development of typologies of smart clothing are carried out based on an analysis of the areas of application, functions performed and features of its structure. The influence of the integration of electronic and digital components on the formation of design solutions, in particular on the constructive, functional and aesthetic characteristics of products, is analyzed. Modern trends and innovative solutions in the design of smart products have been identified, as well as current and promising directions for the development of smart technologies in clothing design have been investigated.

Thus, the results of the study of smart technologies in clothing design complement the scientific base necessary for identifying the patterns of functioning of modern clothing design, and contribute to the expansion of knowledge in this area. At the same time, the systematization of the experience of using smart technologies in

clothing development in the work of foreign designers and brands creates a basis for the adaptation of international innovative approaches in domestic design practice.

The work consists of an introduction, three sections with conclusions, general conclusions, a list of references, and appendices.

The **introduction** substantiates the relevance of the topic and outlines the theoretical and methodological foundations of the research; indicates the connection of the work with scientific programs, plans, and themes; defines the aim, objectives, object, subject, chronological boundaries, and research methods; highlights the scientific novelty and practical significance of the results obtained; provides information on the approbation and implementation of the research results; specifies the author's personal contribution and presents the structure and scope of the dissertation.

The first section analyzes the scientific literature on the topic of the work, identifies sources that constitute fundamental and theoretical works and cover research on the historical development and evolution of fashion and clothing, the formation and development of smart technologies in clothing design, existing classifications and typologies of clothing, types of smart clothing and innovative textile materials, as well as principles and requirements for the design of traditional and smart clothing. Along with this, studies are highlighted that are devoted to the current state of the problem, the latest developments, experimental projects and technological innovations in clothing design. It was found that despite a significant number of scientific publications, the vast majority of studies on smart technologies in clothing design focus on technical aspects, while works focused on a design approach remain underrepresented.

A representative database of research materials was formed in order to ensure the objectivity of the results and classified it into seven groups of sources: fundamental and theoretical scientific works; publications dedicated to the current state of the problem; web resources of manufacturers and innovative companies; electronic resources of professional, popular science and industry publications; patents for developments; international and industry standards and regulatory documents; reports

of international and industry organizations, analytical and market research. The application of a complex of general scientific and special research methods is justified, in particular analysis, synthesis, comparison, abstraction, generalization, forecasting, historical-chronological, structural-functional, structural-descriptive, compositional and artistic-stylistic analysis, and the systemic approach is defined as a universal methodological basis for the study of smart technologies in clothing design.

The second section summarizes and systematizes theoretical and analytical provisions that reveal the essence, development, directions, typologies, structure and features of the application of smart technologies in clothing design. It is determined that the main directions of development of smart technologies include the Internet of Things, artificial intelligence, machine learning, big data analytics, cloud computing and robotics. It is established that in the context of our study, smart technologies should be considered through wearable devices, which are a subcategory of the Internet of Things. In accordance with the systematized information on the classification of wearable devices by the level of integration into the user's body, textile wearable devices are highlighted, which include smart clothing, the study of which is important in the context of clothing design.

The process of formation and development of smart technologies in clothing design is considered and it is determined that scientific and technological progress was the main factor in their emergence. The period of development of smart technologies is divided into three stages: initial (1960-1999), characterized by the appearance of the first inventions and experimental research; the second (2000-2009), which is marked by the intensification of practically oriented developments; and the third (2010-2020), associated with the creation of advanced products with the integration of additional digital and intelligent technologies.

The types of smart clothing are analyzed, divided by the scope of use and the functions they perform: for sports and fitness, healthcare, military and defense, security, entertainment and fashion industries, educational activities, as well as for everyday use.

It is established that smart clothing has a complex structure, which combines technological and material components. In the technical component of smart clothing, four interconnected subsystems with corresponding modules are distinguished that perform critically important functions, such as collecting and receiving information, transmitting and processing data, making and implementing decisions, as well as power supply and data storage. The material component of smart clothing is considered, which involves the use of traditional, functional smart and electronic textiles. A classification of smart textiles by level of development and functions is provided, as well as electronic textiles by degree of integration. In accordance with the technical and material components, typologies of smart clothing are formed by: the type of sensors used and their flexibility, methods of data transmission, mounting of data processing modules, control, information display, power supply, by data storage technologies, as well as by type of textile materials.

Four key aspects of smart clothing design are highlighted: aesthetic, functional, ergonomic and high-tech. An improved process of smart clothing design is proposed, which includes a structured and logical sequence of the following stages: defining the design task; performing pre-design studies; developing a sketch and primary scheme of the model's operation; creating the first and second mock-ups with adjustments; manufacturing final patterns and schemes of integrated devices; approval and production of the final sample; development of design documentation and implementation of the model into production.

The third section identifies current trends and prospects for the development of smart technologies in clothing design. Modern foreign smart products over the past five years have been reviewed, which allowed us to establish current trends in the development of the industry, among which the leading role of the healthcare sector has been identified, where products are mainly focused on monitoring physiological and behavioral indicators, integrating electronic components into the structure of textile materials to increase the convenience of using clothing, implementing wireless power technologies and energy-generating elements to ensure product autonomy, as well as using wireless data transmission channels and increasing the use of digital technologies

that increase the adaptability and functionality of smart clothing. Modern domestic smart products have been analyzed and it has been established that this area is represented mainly by products with a heating function, which indicates an insufficient level of development of smart technologies in clothing design in Ukraine, despite their significant relevance, especially in times of war.

It has been established that the design of smart products requires a comprehensive approach that involves the coordinated consideration of aesthetic, functional, ergonomic and technological aspects. Six criteria for evaluating smart products are proposed, which allow determining the quality, efficiency and expediency of design and project solutions. According to the analysis of modern developments, solutions that designers use to create high-quality products are identified.

The feasibility of applying the concept of sustainable development in the process of developing smart clothing is substantiated, which ensures the rational use of resources, reduces waste, and extends the product life cycle. Eco-design is identified as one of the main approaches to ensuring the sustainable development of smart products, thanks to which, at the conceptual design stage, comprehensive solutions are laid that affect the entire product life cycle and contribute to reducing the negative impact on the environment. Among the main directions of implementation of eco-design principles, the use of environmentally friendly textile materials and electronic components is highlighted, as well as the introduction of modular design approaches into the design process, ensuring compatibility, component upgradability and the possibility of product customization.

It has been established that the growth of interest in smart technologies in the field of clothing design is due to such main factors as the development of technological innovations, orientation on individualization and user experience, integration of sustainable development principles and interdisciplinary cooperation. It has been determined that the pace and directions of development of smart technologies in clothing design are significantly influenced by regional specifics, which is manifested in the dominance of certain directions in different regions. Promising areas of development of smart technologies in clothing design include clothing with artificial

intelligence, neurointeractive clothing, exoskeletons and robotic systems, "invisible" electronics, energy-autonomous and bio-oriented smart clothing, which have high innovative potential and are capable of significantly expanding the characteristics and capabilities of clothing.

Keywords: *fashion design, smart technologies, wearable devices, smart clothing, smart textiles, electronic textiles, medical application, modern technologies, innovations in fashion design, fashion history, fashion trends.*

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці, в яких опубліковані основні результати дисертації:

1. Люклян Н. Р., Пашкевич К. Л. Сучасні інноваційні рішення для комплексного дизайну смартодягу. *Український мистецтвознавчий дискурс*. 2026. № 1. С. 175-185. DOI: <https://doi.org/10.32782/uad.2026.1.20>
2. Люклян Н., Пашкевич К. Удосконалення естетичних та ергономічних показників в одязі з підгрівом на основі порівняльного аналізу аналогів. *Український мистецтвознавчий дискурс*. 2025. № 5. С. 106–114. DOI: <https://doi.org/10.32782/uad.2025.5.12>
3. Процик Б.О., Герасименко О.Д., Пашкевич К.Л., Люклян Н.Р., Касс Б.В. Аналіз особливостей електронних манекенів і бодісканерів для дизайну та візуалізації одягу. *Теорія та практика дизайну. Культура і мистецтво*. 2024. Вип. 1(31). С. 160–170. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2024.31.19>
4. Процик Б.О., Пашкевич К.Л., Герасименко О.Д., Люклян Н.Р. Напрями використання цифрового одягу в сучасній фешн-індустрії. *Український мистецтвознавчий дискурс*. 2023. № 6. С. 73–81. DOI: <https://doi.org/10.32782/uad.2023.6.9>
5. Пашкевич К.Л., Герасименко О.Д., Єжова О.В., Шмагалю Р.Т., Люклян Н.Р. Українська естетика в дизайні сучасних ювелірних виробів. *Art and Design*. 2023. № 1 (21). С. 143-156. DOI: <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2023.1.14>
6. Колосніченко О.В., Пашкевич К.Л., Остапенко Н.В., Люклян Н.Р., Колосніченко М.В. Проектування адаптивного одягу для пацієнтів лікарень із врахуванням умов його експлуатації. *Art and Design*. 2022. № 3 (19). С. 72-87. DOI: <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2022.3.6>
7. Колосніченко О.В., Пашкевич К.Л., Остапенко Н.В., Скрипченко А.Г., Люклян Н.Р. Аналіз і систематизація різновидів проєктних рішень при

виготовленні адаптивного одягу для пацієнтів. *Art and Design*. 2022. № 2 (18). С. 94-107. DOI: <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2022.2.8>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Люклян Н., Пашкевич К., Айлені Р. М., Ірован М. Етапи дизайн-проектування одягу з інтеграцією смарт технологій. *Актуальні проблеми сучасного дизайну* : збірник матеріалів VII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 4 квітня 2025 року. У 3-х т. Т. 1. Київ : КНУТД, 2025. С. 365-367. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/31260>
2. Люклян Н., Пашкевич К., Матюшенко Т., Скріпченко А. Еволюція та перспективи розвитку смарт-технологій в дизайні одягу. *Актуальні проблеми сучасного дизайну* : збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 25 квітня 2024 року. У 3-х т. Т. 1. Київ : КНУТД, 2024. С. 323-326. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/28184>
3. Люклян Н.Р., Пашкевич К.Л. Історичний контекст інновацій в дизайні одягу. *International scientific-practical conference "Actual problems of science, education and technologies"* : conference proceedings, Bratislava, Slovakia, July 25, 2023. Bratislava, Slovakia : Scholarly Publisher ICSSH, 2023. P. 90-92. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/25188>
4. Liuklian N., Pashkevych K., Proțik B., Petrova O. Smart fashion: connection between haute couture and the newest technology. In: *Creativitate. Tehnologie. Marketing*, Ed. IV, 31 martie 2023, Chișinău. Chișinău: „Tehnica-UTM”, 2023, IV, pp. 23-25. URL: <http://repository.utm.md/handle/5014/24812>
5. Колосніченко О., Пашкевич К., Остапенко Н., Люклян Н., Рубанка А. Ергономічні адаптивні вироби для пацієнтів: систематизації та інноваційні технології. *Актуальні проблеми сучасного дизайну* : збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 27 квітня 2022 року. В 2-х т. Т. 1. Київ : КНУТД, 2022. С. 162-165. URL:

<https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/20914>

6. Пашкевич К., Колосніченко О., Скрипченко А., Люклян Н. Інновації в конструктивному рішенні одягу для пацієнтів. *Актуальні проблеми сучасного дизайну* : збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 22 квітня 2021 року. В 2-х т. Т. 1. Київ : КНУТД, 2021. С. 295-297. URL: <https://repository.utm.md/handle/5014/18479>
7. Люклян Н.Р., Пашкевич К.Л., Колосніченко О.В., Власенко В.І. Застосування розумних тканин при проектуванні функціонального одягу для пацієнтів. *Débats scientifiques et orientations prospectives du développement scientifique* : collection de papiers scientifiques "ΛΟΓΟΣ" avec des matériaux de la I conférence scientifique et pratique internationale, Paris, République française, 5 février 2021. Vol. 3. Vinnytsia-Paris: Plateforme scientifique européenne & La Fedeltà, 2021. P. 44-46. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-05.02.2021.v3.12>
8. Люклян Н.Р., Писаренко Н.М. Biodegradable textiles as an alternative to standard fabrics. *Інноваційні тенденції підготовки фахівців в умовах полікультурного та мультилінгвального глобалізованого світу* : збірник тез доповідей V Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 7 квітня 2020 р. Київ : КНУТД, 2020. С. 299-302. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/15326>
9. Люклян Н.Р., Писаренко Н.М. Technology in fashion. *Інноваційні тенденції підготовки фахівців в умовах полікультурного та мультилінгвального глобалізованого світу* : збірник тез доповідей IV Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 9 квітня 2019 р. Київ : КНУТД, 2019. С. 192-196. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/13081>

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	18
ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1 СТАН НАУКОВОЇ РОЗРОБЛЕНОСТІ ТЕМИ, ДЖЕРЕЛЬНА БАЗА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	26
1.1 Стан наукової розробленості теми	26
1.2 Джерельна база та методи дослідження.....	46
Висновки до розділу 1	51
РОЗДІЛ 2 ЕВОЛЮЦІЯ ТА ТИПОЛОГІЇ СМАРТТЕХНОЛОГІЙ У ДИЗАЙНІ ОДЯГУ	54
2.1 Смарттехнології: визначення, основні напрями та їх значення в дизайні одягу	54
2.2 Становлення та розвиток смарттехнологій в дизайні одягу	64
2.3 Різновиди смартодягу за сферами використання та функціями	74
2.4 Типологія смартодягу на основі його технічної та матеріальної складових	83
2.5 Ключові аспекти та етапи дизайн-проектування смартодягу.....	98
Висновки до розділу 2	107
РОЗДІЛ 3 СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СМАРТТЕХНОЛОГІЙ В ДИЗАЙНІ ОДЯГУ	110
3.1 Сучасні тенденції в розробках смартвиробів	110
3.2 Комплексний підхід у дизайн-проектуванні сучасних смартвиробів	130
3.3 Сучасні підходи та напрями щодо реалізації сталого розвитку смартодягу	137
3.4 Перспективні напрями розвитку смарттехнологій у дизайні одягу...	154
Висновки до розділу 3	165
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	169
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	174
ДОДАТКИ.....	216

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

AI – штучний інтелект (англ. Artificial Inteligence)

AR – доповнена реальність (англ. Augmented reality)

EEG – електроенцефалографія (англ. electroencephalography)

GNSS – глобальна навігаційна супутникова система (англ. Global Navigation Satellite Systems)

GPS – система глобального позиціонування (англ. Global Positioning System)

GSR – шкірно-гальванічна реакція (англ. Galvanic Skin Response)

IoRT – Інтернет робототизованих речей (анг. Internet of Robotic Things)

IoT – Інтернет речей (англ. Internet of Things)

LED – світлодіод (англ. Light Emitting Diode)

LoRa – технологія бездротового зв'язку далекого радіусу дії (англ. Long Range)

ML – машинне навчання (англ. Machine Learning)

NBIC – нано-, біо-, інформаційні та когнітивні технології (англ. nano, bio, info, cogno)

NFC – ближньопольова комунікація (англ. Near Field Communication)

PDLC – полімерно-дисперсні рідкі кристали (англ. Polymer Dispersed Liquid Crystal)

RFID – радіочастотна ідентифікація (англ. Radio Frequency Identification)

VR – віртуальна реальність (англ. Virtual reality)

Wi-Fi – бездротова локальна мережа (англ. Wireless Fidelity)

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сьогодні технології активно інтегруються в усі сфери життєдіяльності людини, зокрема і в дизайн одягу. Цей процес зумовлений стрімким розвитком цифрових, інформаційних та інженерних рішень, які трансформують традиційні уявлення про функції та можливості одягу. У результаті, одяг перестає виконувати виключно утилітарну й естетичну роль, стає більш технологічним, здатним виконувати нові функціональні ролі та адаптуватися до індивідуальних потреб користувача, набуваючи ознак персоналізованого продукту. Важливу роль у цьому процесі відіграють смарттехнології, що передбачають інтеграцію в конструкцію одягу датчиків, інтелектуальних матеріалів та електронних компонентів. Перехід смартодягу з експериментальної сфери до масового використання актуалізує потребу переосмислення підходів до його дизайн-проектування.

Актуальність дослідження зумовлена невідповідністю між зростаючим рівнем технологічної складності смартодягу та наявними дизайнерськими методами його проектування. У практиці сучасного дизайну смарттехнології часто інтегруються на завершальних етапах створення виробу, що призводить до їх формального або ізольованого використання й не забезпечує цілісності художньо-образного, конструктивного та функціонального рішень. Відсутність науково обґрунтованих принципів формоутворення та композиційної організації смартодягу ускладнює гармонійну інтеграцію технологічних елементів у візуальну структуру виробу, негативно впливає на його ергономічні характеристики та обмежує потенціал персоналізації. Особливої актуальності набуває проблема міждисциплінарної узгодженості дизайнерських, інженерних і технологічних рішень, без якої впровадження смартодягу в масове виробництво залишається обмеженим.

Дослідження еволюції, визначення типологій та аналіз сучасних тенденцій застосування смарттехнологій у дизайні одягу дозволить удосконалити підходи

до дизайн-проектування та сприятиме впровадженню інноваційних рішень у практику сучасної модної індустрії.

Джерельну базу наукового дослідження склали науково-аналітичні матеріали, теоретичні праці вітчизняних і зарубіжних вчених та науковців, які присвячені:

- дослідженню історичних етапів розвитку моди, трансформації костюма та особливостей проєктних практик у дизайні одягу: О. В. Колосніченко, Т. Ф. Кротової, О. М. Лагоди, М. Т. Мельника, Н. В. Чупріної, F. Boucher, Y. Deslandres, B. Quinn, S. Seymour, P. G. Tortora;
- становленню та розвитку смарттехнологій у дизайні одягу: T. Dias, T. M. Fernández-Caramés, P. Fraga-Lamas, W. D. Gray, J. Holnicki-Szulc, T. Hughes-Riley, K. Jothimani, L. Klus, P. Kołakowski, S. Mann, J. Motylewski, A. Ometov, D. B. Pliske, K. A. Popat, J. Psotka, P. Sharma;
- класифікаціям та типологіям одягу, в тому числі і смартодягу: М. В. Колосніченко, Н. В. Остапенко, К. Л. Пашкевич, О. І. Поліщук, І. П. Скульської, T. M. Fernández-Caramés, C. Hertleer, Q. Li, L. Sabantina, A. Schwarz-Pfeiffer, K. N. Simončič, F., Y. Wu;
- принципам дизайн-проектування традиційного одягу та смартодягу: А. Варивончик, О. В. Колосніченко, В. В. Мици, О. М. Пальцун, К. Л. Пашкевич, О. П. Пенчук, А. Л. Славінської, Н. В. Чупріної, D. Bryson, S. Imbesi, J. McCann, A. Owens, S. Scataglini;
- новітнім розробкам, експериментальним проєктам і технологічним інноваціям у дизайні одягу: А. Т. Арабулі, С. І. Арабулі, С. М. Березненко, О. В. Захаркевич, О. П. Кизимчук, Л. М. Мельник, Л. В. Назарчук, М. Л. Рябчиков, Н. П. Супрун, B. Ariyatun, J. Berzowska, G. Cho, L. E. Dunne, J. Fengfan, C. Hannigan, D. Harrison, R. Holland, C. Hou, R. Huang, K. M. B. Jansen, N. Ju, B. V. Koncar, K. H. Lee, H. Ramlow, A. S. M. Sayem, Q. Shi, X. Тао та іншими.

Зв'язок теми дослідження з планами науково-дослідних робіт. Дисертація виконана відповідно до напрямів наукових досліджень кафедри мистецтва та дизайну костюма Київського національного університету технологій та дизайну «Н/н 44/22 Дослідження тектонічної структури та художньо-композиційних характеристик костюма» (2022-2024 р.), «Н/н 44/25 Соціальні контексти, сучасні тенденції та інновації в розробці одягу різного призначення» (2025 р.), у межах ініціативної науково-дослідної теми КНУТД «0121U113712 Вдосконалення тектоніки побудови форми сучасного одягу на основі дослідження соціальних та культурологічних факторів впливу» (2022–2024 рр.) та договору на створення і передачу науково-технічної продукції №1265 від 29.04.2023 р.

Мета дослідження – виконання комплексного мистецтвознавчого аналізу смарттехнологій у дизайні одягу для встановлення особливостей їхньої еволюції, розробка типологій та визначення сучасних тенденцій, а також перспектив подальшого розвитку з урахуванням світової практики.

Для досягнення мети поставлено та вирішено такі **завдання**:

- проаналізувати стан наукового вивчення теми, охарактеризувати джерельну базу та визначити методи дослідження;
- визначити основні напрями розвитку, дослідити передумови виникнення та етапи еволюції смарттехнологій в дизайні одягу;
- розробити типології смартодягу на основі аналізу сфер застосування, виконуваних функцій та особливостей його структури;
- проаналізувати вплив інтеграції електронних та цифрових компонентів на особливості дизайн-проекування смартодягу;
- визначити тенденції та інноваційні рішення у дизайні сучасних смартрозробок з урахуванням вибору матеріалів, способів технологічної інтеграції, особливостей формоутворення та художньо-образної виразності виробів;

- дослідити актуальні та перспективні напрями розвитку смарттехнологій у дизайні одягу з огляду на тенденції, технологічні досягнення та потенціал їх подальшого впровадження у дизайн-практику.

Об'єкт дослідження – смарттехнології в дизайні одягу.

Предмет дослідження – еволюція, типології та сучасні тенденції застосування смарттехнологій у дизайні одягу.

Хронологічні межі дослідження визначені від 1960-х років, що позначають початок розвитку смарттехнологій в дизайні одягу, до сьогодення.

Методи дослідження. Для досягнення визначеної мети і завдань в ході наукового дослідження використано загальнонаукові методи, такі як аналіз, синтез, порівняння, абстрагування, узагальнення, аналітика та прогнозування, а також історико-хронологічний, структурно-функціональний, структурно-описовий, композиційний та художньо-стилістичний аналізи. Комплексне застосування методів аналізу та синтезу забезпечило можливість опрацювати значний масив літературних джерел, сформувати репрезентативну джерельну базу та системно висвітлити стан наукової розробленості теми. Для вивчення еволюції смарттехнологій у дизайні одягу було використано метод історико-хронологічного аналізу, який дозволив простежити розвиток досліджуваного явища та виділити три основні етапи. Системний підхід застосовано для найбільш повного дослідження смарттехнологій як багатоаспектної цілісності з метою визначення притаманних їм дизайнерсько-технологічних особливостей. З метою виявлення загальних закономірностей і зіставлення існуючих підходів були використані методи порівняльного аналізу, абстрагування та узагальнення, що дозволило створити схему взаємозв'язку між напрямками смарттехнологій у дизайні одягу, систематизувати класифікації носимих пристроїв і смартодягу за характерними ознаками, сформувати цілісне уявлення про будову смартодягу, а також виділити ключові аспекти та удосконалити процес його дизайн-проекування. Дослідження сучасних розробок смартодягу проводилося з використанням методів композиційного, художньо-стилістичного, структурно-функціонального та структурно-описового аналізу. Метод експертного

оцінювання використано для формування критеріїв оцінювання та визначення сучасних рішень, які забезпечують якість проектування та виготовлення смартпродуктів. Комплекс аналітичних і прогнозних методів дозволив виявляти ключові тенденції розвитку ринку смартодягу, визначити основні проблеми та виклики, які стримують його зростання, а також оцінити потенційні шляхи їх подолання.

Наукова новизна отриманих результатів. Основні положення, що визначають наукову новизну дисертаційної роботи, полягають у такому:

вперше:

- проведено комплексний системний аналіз еволюції смарттехнологій у дизайні одягу, що дозволило визначити ключові етапи та характерні ознаки їх розвитку;
- систематизовано різновиди смартодягу за сферою використання та функціональним призначенням;
- досліджено особливості структури смартодягу як складної інтегрованої системи, що поєднує технічну та матеріальну складові;
- розроблено типології смартодягу за типом застосовуваних датчиків та їх гнучкості, за способами передачі даних, кріплення модулів обробки даних, керування, відображення інформації, живлення, за технологіями зберігання даних, а також за типом текстильних матеріалів;
- здійснено аналіз сучасних смартрозробок з визначенням тенденцій та рішень, що відповідають комплексному підходу до дизайн-проектування;
- охарактеризовано екодизайн як один із основних підходів у дизайн-проектуванні смартодягу, що забезпечує реалізацію принципів сталого розвитку;
- досліджено перспективні напрями розвитку сучасного одягу з використанням смарттехнологій ;

уточнено та доповнено:

- класифікацію носимих пристроїв за рівнем інтеграції в тіло користувача;

- класифікації смарттекстилю та електронного текстилю;
- аспекти та етапи дизайн-проектування смартодягу, що передбачають врахування технічної складової виробу;

набуло подальшого розвитку:

- дослідження у галузі сучасного мистецтвознавства з питань розвитку смарттехнологій в дизайні одягу;
- визначення підходів до дизайн-проектування смартодягу;
- вивчення тенденцій та перспективних напрямів в дизайні одягу з інтеграцією смарттехнологій.

Теоретичне значення роботи полягає в поглибленні наукових досліджень у галузі сучасного мистецтвознавства з питань розвитку смарттехнологій в дизайні одягу, що може бути корисним в навчальному процесі, наприклад, під час підготовки лекційних курсів, підручників та навчальних посібників з дизайну одягу та в подальших наукових дослідженнях щодо смарттехнологій в дизайні одягу.

Практичне значення одержаних результатів дослідження полягає в узагальненні світового та українського досвіду проєктних практик та інновацій у дизайні одягу з використанням смарттехнологій, збагаченні вихідної бази даних для подальших досліджень та практичного застосування при проєктуванні. Наукові результати досліджень впроваджено в освітній процес Київського національного університету технологій та дизайну при підготовці студентів спеціальності 022 (В2) Дизайн освітньої програми «Дизайн одягу» при викладанні дисциплін: «Текстильний дизайн у виготовленні моделей одягу», «Технології виготовлення одягу», «Художнє моделювання та конструювання одягу», «Фешн-ілюстрація і комп'ютерне проєктування одягу». Окремі результати роботи впроваджено у виробничий процес ТОВ «Корсунь-Шевченківська швейна фабрика» для проєктування нових моделей одягу.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати дослідження отримані автором особисто. Автору в них належить збір та систематизація

матеріалу, формулювання основних висновків. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здійснено постановку наукових завдань, проведено теоретичні дослідження, виконано обробку, систематизацію та узагальнення отриманих результатів, реалізовано практичну частину дослідження й сформульовано висновки [17-19, 27-33, 46-47, 50-51].

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на симпозиумі, наукових конференціях різних рівнів у період з 2019 по 2025 рр., у тому числі: IV, V Всеукраїнських науково-практичних конференціях «Інноваційні тенденції підготовки фахівців в умовах полікультурного та мультилінгвального глобалізованого світу» (КНУТД, м. Київ, 9 квітня 2019 р., 7 квітня 2020 р.); I Міжнародній науково-практичній конференції «Débats scientifiques et orientations prospectives du développement scientifique» (Vinnytsia-Paris: Plateforme scientifique européenne & La Fedeltà, м. Париж, Франція, 5 лютого 2021 р.); III, IV, VI, VII Міжнародних науково-практичних конференціях «Актуальні проблеми сучасного дизайну» (КНУТД, м. Київ, 22 квітня 2021 р., 27 квітня 2022 р., 25 квітня 2024 р., 4 квітня 2025 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Actual problems of science, education and technologies» (Scholarly Publisher ICSSH, Братислава, Словаччина, 25 липня 2023 р.); V міжнародному симпозиумі «Creativitate. Tehnologie. Marketing» (Tehnica-UTM, Кишинів, Молдова, 31 березня 2023 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 16 наукових праць, 7 статей у фахових виданнях України, 9 доповідей на всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях, 3 з яких за кордоном.

Структура та обсяг дисертації. Основна частина дисертації складається зі вступу, трьох розділів та висновків і становить 173 сторінки. Список використаних джерел містить 344 позиції. Додатки подано на 102 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 317 сторінок.

РОЗДІЛ 1

СТАН НАУКОВОЇ РОЗРОБЛЕНОСТІ ТЕМИ, ДЖЕРЕЛЬНА БАЗА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Стан наукової розробленості теми

Кінець XX – початок XXI ст. в суспільстві характеризується швидким розвитком технологій у всіх сферах життєдіяльності людини, у тому числі і в дизайні одягу, який вбирає в себе всі інновації та спрямований на перспективний розвиток нових технологій, методів, прийомів, стилів та концептуальних напрямів. Динамічне впровадження новітніх технологій зумовлює трансформацію процесів дизайн- проектування одягу, стимулює появу нових форм і функціонально орієнтованих виробів, здатних відповідати актуальним потребам суспільства. У цьому контексті особливого значення набувають смарттехнології, які формують окремий напрям у світовій індустрії моди та демонструють стійку тенденцію до подальшого розвитку.

Варто зазначити, що смарттехнології є відносно новою галуззю, тому в процесі розвитку науки й техніки визначення даного поняття зазнає постійних уточнень, доповнень і нових інтерпретацій. Одну з перших спроб наукового пояснення смарттехнологій здійснила група вчених Д. Грей, Д. Б. Пліске, Дж. Псотка (W. D. Gray, D. B. Pliske, J. Psocka) з Науково-дослідного інституту поведінкових та соціальних наук армії США. У звіті 1985 року зазначалося, що смарттехнології представляють собою застосування когнітивних та комп'ютерних наук для навчання армії. Основним завданням таких технологій визначено створення «інтелектуальних» репетиторів, або систем інтелектуального комп'ютерного навчання [217].

У подальших дослідженнях, зокрема у праці 1998 року фахівців NASA, поняття смарттехнологій розкривається через їх функціональні характеристики. Такі технології розглядаються як системи, що поєднують датчики, виконавчі

механізми та алгоритми керування, об'єднані у замкнений контур зворотного зв'язку, завдяки чому система здатна сприймати зміни середовища, обробляти отриману інформацію та відповідним чином реагувати [324].

Більш сучасне визначення, сформоване у 2008 році, коли смарттехнології набули ширшого застосування. У праці науковців Я. Голницького-Шульца, Є. Мотилевського, П. Колаковського (J. Holnicki-Szulc, J. Motylewski, P. Kołakowski) смарттехнології трактуються як узагальнення концепції «інтелектуальних структур» і визначаються як технічні або механічні системи, оснащені датчиками, виконавчими елементами та попередньо запрограмованими контролерами, що забезпечують здатність конструкції адаптуватися до непередбачуваних умов зовнішнього навантаження [156].

У контексті дизайну одягу смарттехнології визначаються як інтегровані системи, що поєднують текстильні матеріали з електронними компонентами, датчиками, виконавчими елементами та алгоритмами керування, завдяки чому одяг може реагувати на зміни навколишнього середовища або фізіологічних параметрів користувача та адаптувати свої властивості для забезпечення додаткових функцій, наприклад регулювати температуру, змінювати колір або форму тканини, контролювати фізичні показники організму та взаємодіяти з цифровими пристроями [334].

Для дослідження історичного розвитку смарттехнологій у дизайні одягу важливу теоретичну основу складають праці з історії та теорії дизайну в широкому культурно-історичному сенсі, оскільки вони дозволяють простежити еволюцію дизайнерської діяльності, зміну функцій одягу та трансформацію підходів до проектування виробів у процесі розвитку науки й техніки. Звернення до таких досліджень дає змогу розглядати смарттехнології в дизайні одягу не ізольовано, а як закономірний етап розвитку дизайнерської практики.

Книга «20,000 Years of Fashion: The History of Costume and Personal Adornment» Ф. Буше, І. Десландрес (F. Boucher, Y. Deslandres) є фундаментальним дослідженням, у якому здійснено ґрунтовний історичний огляд розвитку костюма від доісторичних часів до ХХ століття. У праці

розглянуто еволюцію форм, матеріалів і декоративних елементів одягу в різні історичні періоди, а також показано зв'язок моди із соціокультурними змінами та технологічними новаціями, які вплинули на способи виробництва одягу і сприяли поширенню масової моди [85].

Ще одним важливим ресурсом для досліджень у галузі моди, дизайну та історії одягу є десяти томна енциклопедія «Encyclopedia of World Dress and Fashion», де зібрано понад 760 статей, що охоплюють історію та культуру одягу від найдавніших часів до сучасності. Енциклопедія організована за географічним принципом, описуючи традиційні та сучасні практики в Африці, Азії, Європі та Америці, а останній том узагальнює глобальні тенденції та перспективи дослідження костюма й моди [123].

У книзі «Survey of Historic Costume» історикиня та дослідниця моди й дизайну Ф. Г. Тортора (P. G. Tortora) аналізує історичний розвиток костюма від античності до сучасності під впливом соціальних, міжкультурних, екологічних, географічних та мистецьких чинників [304]. Продовжуючи тему дослідження, у праці «Dress, Fashion and Technology: From Prehistory to the Present» авторка розглядає вплив технологічного прогресу на виробництво одягу, розвиток стилів і саму індустрію моди, вона підкреслює, що технології не лише сприяли виробництву, а також визначали стиль і функції одягу [303].

Доктором мистецтвознавства Т. Ф. Кротовою досліджено теорію та історію дизайну костюма, еволюцію форм одягу, художньо-стильові особливості моди та використання історичних і культурних джерел у сучасному дизайні одягу [21, 23, 103]. Зокрема, у її докторській дисертації «Класичний костюм в європейській моді XIX – початку XXI століття: еволюція форм і художньо-стильові особливості» аналізується розвиток класичного костюма та закономірності формоутворення в моді [22].

Історик моди М. Т. Мельник досліджує моду як художнє та культурне явище XX століття, аналізуючи її історичний розвиток, вплив провідних художніх течій та взаємозв'язок із іншими видами мистецтва, розкриваючи функції моди як форми комунікації, самовираження і культурного виразу. Він

також відзначає, що під впливом науково-технічного прогресу мода ХХ століття поєднала історичне вбрання з сучасністю, де доцільність, практичність і доступність стали ознаками художньої виразності та краси [35].

Науковиця О. М. Лагода вивчає костюм як соціокультурний і комунікативний феномен, розглядаючи його як засіб нарративу, символічної репрезентації та формування ідентичності у сучасній модній культурі [25, 26]. У дисертаційній праці «Художньо-образні особливості костюма в дизайні одягу кінця ХХ – початку ХХІ століття» розкрито специфіку формування та еволюції типобразів костюма як естетичних ідеалів епохи в контексті становлення дизайну одягу як окремої галузі творчої діяльності.

Праці доктора мистецтвознавства, професора Н. В. Чупріної [61, 103] містять ґрунтовне дослідження моди як складної інтегрованої системи, що формується під впливом історико-культурних, соціальних і економічних чинників у ХХ – на початку ХХІ століття. Дослідниця аналізує передумови становлення сучасної системи моди, окреслює її структурні компоненти, описує проектні практики в модному дизайні та досліджує, як різні фактори (глобалізація, споживчі процеси, художньо-проектна діяльність) впливають на функціонування моди в європейському й українському контекстах.

Науковцями О. В. Колосніченко, А. І. Барановою, К. В. Крічлоу та ін. [16] проведено аналіз розвитку нових форм костюма у ХХ столітті шляхом вивчення впливу науково-технічного прогресу. Встановлено, що в 1970–1990-х роках з'явилися нові види волокон, текстилю та одягу, які отримали назву «Smart».

У книзі «Techno Fashion» Б. Квінн (B. Quinn) вивчає взаємозв'язок моди й сучасних технологій, показуючи, як у ХХІ столітті дизайнери поступово переходять від традиційних методів проектування та створення одягу до високотехнологічних рішень, де одяг стає не просто стилем, а інтелектуальним пристроєм, поєднуючи комунікаційні технології, електронний текстиль та інноваційний дизайн. Через інтерв'ю з провідними дизайнерами автор показує, як технології змінюють саму сутність того, як ми одягаємося, спілкуємося і

взаємодіємо з навколишнім середовищем, стираючи межі між тілом, одягом і машиною та відкриваючи нові шляхи для майбутньої моди [241].

Відома австрійська дослідниця у галузі модних технологій та дизайну С. Сеймур (S. Seymour) у праці «Fashionable Technology: The Intersection of Design, Fashion, Science and Technology» також досліджує взаємодію моди, дизайну, науки та технологій, зокрема роль електронного текстилю та носимих технологій у сучасному одязі. Авторка описує понад 50 проєктів і досліджень від провідних дизайнерів, наукових інститутів і компаній, ілюструючи практичні застосування технологій й потенціал майбутнього одягу, а також надає детальну бібліографію та ресурси для подальших досліджень [261].

С. Менн (S. Mann) є одним із перших дослідників і винахідників у галузі носимих технологій, який експериментував із інтеграцією електронних пристроїв у одяг і аксесуари та створював ранні прототипи носимих комп'ютерних систем, зокрема пристрої з камерами, дисплеями й обчислювальними модулями. Основні результати його досліджень викладені у працях «Wearable Computing: Toward Humanistic Intelligence» [216] та «Smart Clothing: Wearable Multimedia Computing» [214], у яких обґрунтовано концепцію носимих комп'ютерів, розкрито принципи їх інтеграції в одяг, а також визначено можливості використання носимих мультимедійних систем для розширення функціональних і комунікаційних можливостей людини.

Еволюцію носимих пристроїв від ранніх прототипів XIII ст. до сучасних розробок, поступовий перехід технологій від простих механічних пристроїв до складних електронних систем, інтегрованих у повсякденні аксесуари та одяг, описано у статтях авторів К. А. Попата, П. Шарми (K. A. Popat, P. Sharma) [236], А. Ометова, В. Шубіної, Л. Клус та ін. (A. Ometov, V. Shubina, L. Klus, et al.) [228]. Натомість, у роботі Т. М. Фернандес-Карамеса, П. Фрага-Ламас (T. M. Fernández-Caramés, P. Fraga-Lamas) [129] історія розвитку носимих технологій розглядається з 1960-х років у контексті становлення перших портативних пристроїв та їх подальшої інтеграції в IoT-середовище.

У статті американських дослідниць М. Су, К. Керролл та Н. Кассілл (M. Suh, K. Carroll, N. Cassill) проаналізовано історичний розвиток смартодягу, основні труднощі в процесі створення таких продуктів, а також те, як мода та технології можуть гармонійно поєднуватися в функціональному одязі; вони пропонують розглядати розробку смартодягу як міждисциплінарний процес, що включає дизайн, фізіологічні потреби користувача й текстильні технології, і переглядають існуючі продукти з точки зору їхніх проблем при проектуванні та вимог користувачів [291].

Важливу роль у розвитку смарттехнологій в дизайні одягу відіграють інновації в текстильних матеріалах. У праці британських науковців Т. Г'юз-Райлі, Т. Діаса, К. Корка (T. Hughes-Riley, T. Dias, C. Cork) проведено історичний огляд електронного текстилю, простежуючи його розвиток від ранніх експериментів із провідними волокнами до сучасних інтелектуальних текстильних систем. У роботі аналізуються ключові технологічні етапи інтеграції електроніки в текстиль, від прикріплення електронних компонентів до поверхні одягу, через створення функціональних текстилю із датчиками та провідними елементами, до впровадження електроніки безпосередньо у структуру волокон [162].

У першому розділі «History of Smart Textiles and Wearables» книги «Smart Textiles and Wearables for Health and Fitness» К. Джотімані, С. Хемалата, С. Сельварадж, Р. Тангараджан (K. Jothimani, S. Hemalatha, S. Selvaraj, R. Thangarajan) досліджують еволюцію смарттекстилю та носимих пристроїв, від перших спроб інтегрувати технології в текстиль до сучасних інновацій. Висвітлено ключові етапи: механізацію виробництва текстилю під час Індустріальної революції, появу функціональних тканин середини ХХ століття, серед яких вогнетривкі та вологовідштовхуючі матеріали, що стали основою для смарттекстилю, а також стрімкий прогрес кінця ХХ – початку ХХІ століття завдяки досягненням у матеріалознавстві, нанотехнологіях та мініятуризації електроніки [181].

Варті уваги праці, у яких досліджуються типології та класифікації одягу, оскільки вони дають розуміння різноманіття форм, функцій і конструктивних особливостей виробів. У контексті нашого дослідження типологізація одягу слугує основою для аналізу нових напрямів у дизайні, зокрема пов'язаних із впровадженням інноваційних матеріалів і технологій, що є важливим для системного вивчення та класифікації сучасного одягу.

У книзі «Мода і одяг» М. В. Колосніченко та К. Л. Пашкевич подано класифікацію різновидів одягу та проаналізовано фактори, що впливають на розвиток асортименту сучасних виробів. Значну увагу приділено композиційно-конструктивним характеристикам одягу: наведено класифікації покроїв, силуетів, деталей і видів оздоблення, а також визначено основні стилі сучасного одягу. Автори розглядають різновиди швейних, трикотажних, білизняних і корсетних виробів та аналізують структуру художніх систем одягу, зокрема поняття костюма, комплекту, ансамблю і гардероба [14].

І. П. Скульською та О. І. Поліщук розроблено класифікацію одягу на основі характерних ознак стильових рішень. Використання цієї класифікації є корисним на етапі ескізного проектування моделей у межах певного стилю, а також при пошуку рішень у процесі формування нового стилю, що забезпечує системний підхід до дизайнерської роботи та сприяє ефективній реалізації творчих ідей у створенні моделей одягу [55].

Класифікації форм одягу з позицій тектонічного підходу в дизайні розглянуто в статті К. Л. Пашкевич та співавторів. Визначено основні ознаки тектонічних форм одягу, проведено порівняльний аналіз існуючих класифікацій і розроблено власну класифікацію тектонічних систем одягу за чотирма основними видами, що дозволяє формувати рекомендації щодо вибору тканин з певними властивостями для проектування та виготовлення різноманітних виробів [49].

У працях Н. В. Остапенко та співавторів здійснено узагальнення та систематизацію різновидів виробів спеціального призначення, розглянуто їх класифікаційні ознаки, а також проаналізовано особливості проектування і

виготовлення таких виробів з урахуванням умов експлуатації [44]. Окрему увагу в роботах приділено аналізу конструктивних елементів спеціального одягу, що трансформуються [43] та систематизації конструктивно-технологічних рішень адаптивного одягу за силуетом, покроєм, типами застібок і функціонально-конструктивними та декоративними елементами [19].

Зарубіжні науковці Й. Гершак, К. Н. Симончіч (J. Geršak, K. N. Simončič) пропонують узагальнену систему класифікації одягу з двох основних позицій: антропологічної та інженерної. Антропологічний підхід передбачає поділ одягу за культурними та соціальними характеристиками, зокрема на категорії моди та антимоди, тоді як інженерний підхід базується на функціональному призначенні виробів. У межах функціональної класифікації виділено такі типи, як модний одяг, функціональний одяг та високотехнологічний (high-tech) одяг, до якого належать інтелектуальні та спеціалізовані вироби [135].

У виданні «Fashion Terms and Styles» авторка Е. К. Карлсон (E. K. Carlson) пропонує систематизований опис термінології та стилістичних різновидів жіночого одягу. У праці використано елементи типологізації: вироби і їх деталі упорядковано за принципом переходу від простіших до складніших форм, від прилягаючих до більш об'ємних силуетів і від коротких до довгих варіантів [191].

Смартодяг у статті дослідників С. Цзян, О. Штанге, Ф. О. Бетке, С. Султанова, Л. Сабантіна (S. Jiang, O. Stange, F. O. Bätcke, S. Sultanova, L. Sabantina) класифіковано за двома основними критеріями: технологічним рівнем і сферою застосування. За технологічним рівнем виділяють простий функціональний одяг із покращеними матеріалами (антибактеріальні, водовідштовхувальні), одяг із матеріалами, що змінюють фізичні властивості, та смартодяг з інтегрованими електронними системами для збору, обробки та передачі даних. За сферою застосування смартодяг поділяють на медичний (моніторинг стану здоров'я), спортивний (контроль активності), військовий й захисний (сенсорний контроль і безпека) та модний/комерційний (інтерактивні й декоративні функції) [180].

Подібний підхід представлено й у дослідженні Ц. Лі, Ч. Сюе, Ю. Ву, С. Цзен (Q. Li, Z. Xue, Y. Wu, X. Zeng), де автори класифікують смартодяг за функціональним призначенням: для спорту й фітнесу (моніторинг активності, пульсу, калорій), охорони здоров'я (відстеження фізіологічних показників та профілактика), захисту безпеки (сигналізація, позиціонування, захист у небезпечних умовах) і розваг/досвіду користувача (музика, відео, управління настроєм і навігація) [203].

Дж. С. Ву, Л. Лі (J. X. Wu, L. Li) розрізняють смартвироби за трьома основними аспектами розвитку [180]. По-перше, за ступенем інтелектуальності, від пасивного, що вміє лише сприймати зовнішні зміни, через активний, який реагує на ці зміни, до дуже «розумного», що може адаптуватися і навчатися на основі попереднього досвіду. Також за рівнем інтеграції технологій у матеріал, де в перших поколіннях функціонуючі компоненти кріпляться зовні, тоді як у сучасних виробках вони все більше інтегруються в структуру текстилю та волокон. І, нарешті, за ступенем самодостатності, що охоплює еволюцію виробів, які залежать від зовнішньої енергії, матеріалів і технік, до перспективних автономних систем, здатних функціонувати самостійно, самоочищуватися і навчатися на власному досвіді.

Через наявність електронних і технологічних компонентів у конструкції смартвиробів особливої уваги заслуговують наукові праці, у яких досліджуються особливості їх роботи та функціонування. У статті П. Кікенс, Л. Ван Лангенхове, К. Хертлір (P. Kiekens, L. Van Langenhove, C. Hertleer) смартодяг узагальнено представлено через п'ять основних функцій: сенсорну, яка відповідає за збір інформації з навколишнього середовища або тіла користувача; обробки даних, що аналізує та інтерпретує отримані сигнали; виконавчу, яка відповідає за реакцію або зміну стану одягу; зберігання даних, що дозволяє накопичувати інформацію для подальшого використання; а також функцію зв'язку, яка забезпечує передавання даних між смартодягом і іншими пристроями або системами [190].

Більш деталізований підхід пропонують науковці Т. М. Фернандес-Карамес, П. Фрага-Ламас (Т. М. Fernández-Caramés, P. Fraga-Lamas), які розглядають смартодяг через виділення базових підсистем: сенсорної, виконавчої, управління, зв'язку та зберігання даних, а також додаткових підсистем: розташування, живлення та дисплея, які забезпечують відстеження позиції користувача, автономне енергопостачання компонентів і безпосереднє відображення інформації на одязі [129].

Натомість дослідники К. Лі, Ч. Сюе, Ю. Ву, С. Цзен (Q. Li, Zh. Xue, Y. Wu, X. Zeng) визначають смартодяг як систему, що формується поєднанням двох основних складових: інтелектуальних модулів та носія цих модулів [203]. Інтелектуальні модулі (сенсорний, зв'язку, прийняття рішення і відгуку, взаємодії людина-машина, системної інтеграції) відповідають за ключові технологічні функції: збір, обробку, передачу та зберігання даних, а також забезпечують взаємодію з користувачем. Ефективність цих модулів залежить від конструкції «носія», до якої входять текстильні матеріали та конструктивні особливості самого виробу.

Для визначення принципів і етапів проектування виробів з інтеграцією інноваційних технологій методологічну основу закладають дослідження, присвячені традиційним підходам до створення виробів.

Н. В. Чупріна у науковій статті [60] досліджує особливості процесу дизайну костюма як частину художнього проектування. Виділено основні етапи роботи дизайнера: дослідження творчої основи для вирішення проектної задачі, аналіз першоджерел для адаптації образних та функціональних рис, та ескізування варіантів, що поєднують художню оригінальність і функціональну доцільність. Результатом правильно організованого процесу є продукт дизайну – виріб, прогресивно вирішений з позицій технології, економіки та естетики.

У праці А. Осадчої розглянуто сучасні напрями та особливості розвитку дизайну одягу та його зв'язок із процесом проектування [42].

У колективній монографії «Дизайн одягу в полікультурному просторі» значну увагу приділено художньо-композиційним засадам формоутворення

костюма, де одяг розглядається як цілісна система взаємодії форми, матеріалу та конструкції. У праці розкрито принципи тектоніки, засоби композиції та особливості гармонізації форми з урахуванням властивостей тканин у процесі проектування. Також приділено увагу проблемам інтеграції мистецтва і технологій у дизайні одягу, зокрема застосуванню принципів трансформації, формуванню інформаційної бази елементів-трансформерів для створення спеціального та форменого одягу, а також удосконаленню дизайн-проектування ергономічних виробів із прогнозованими показниками надійності шляхом поєднання ергономічних та естетичних властивостей [8].

Науковиця К. Л. Пашкевич у першому розділі праці «Дизайн одягу на засадах тектонічного підходу» досліджує процес перетворення графічної інформації у систему «ескіз–одяг» шляхом композиційно-конструктивного аналізу моделей одягу, застосовуючи методи та засоби композиційного формоутворення на рівні ескізу. Особлива увага приділяється розробці геометричних моделей одягу, які дозволяють отримати точні параметри форми. У другому розділі авторка пропонує структурно-логічну модель процесу розробки модельних конструкцій, що забезпечує послідовне та системне проектування виробів [45].

Доктором мистецтвознавства О. В. Колосніченко у дисертаційному дослідженні [15] обґрунтовано систему художньо-композиційних принципів створення спецодягу, розглянуто взаємозв'язок функціональних, ергономічних і естетичних характеристик виробу та визначено закономірності гармонізації форми в системі «людина – одяг – середовище».

Професор М. В. Колосніченко у статті [13] досліджує удосконалення методів дизайн-проектування під час створення нових форм спеціального одягу. Підкреслено значення високотехнологічного підходу, який передбачає використання нанотехнологій для створення «розумних» речей, зокрема застосування нановолокон і нанотехнологій обробки, колорування та художнього оформлення одягу у масовому виробництві сучасного спецодягу.

У праці І. В. Косяк розглянуто особливості творчого процесу в дизайні одягу та проаналізовано методи, що застосовуються під час проєктування швейних виробів. Окрему увагу приділено методу передових технологій, що передбачає використання інноваційних матеріалів і технологічних розробок у створенні одягу, зокрема виробів, здатних змінювати свої властивості або вигляд під впливом зовнішніх факторів [20].

У статті А. Славінської та В. Мици досліджено модульне проєктування конструктивно-уніфікованих рядів одягу з використанням інноваційних методів. Запропонований комбінаторний підхід дозволяє створювати варіативні моделі та уніфікувати конструктивні елементи, що спрощує виробництво та планування. Висвітлено можливості інтеграції смартехнологій у дизайн-проєктування, створюючи передумови для їхнього широкого застосування у методичному супроводі формування конструктивно-уніфікованих рядів українських брендів [37, 56].

Науковиці А. Варивончик, О. Пенчук, О. Пальцун у праці [6] розглядають сучасні інноваційні технології, що застосовуються в проєктуванні та виробництві одягу, зокрема новітні матеріали, цифрові інструменти дизайну та технології виготовлення, які трансформують традиційні підходи до моделювання, конструювання та реалізації дизайнерських ідей у сфері одягу, підкреслюючи їхній вплив на ефективність, функціональність і естетичні можливості сучасної модної індустрії.

Закордонне видання «Hi-Fructose: New Contemporary Fashion. Cernunnos» Е. Оуенса (A. Owens), демонструє різноманіття експериментальних підходів до формоутворення одягу, використання нетрадиційних матеріалів, складних декоративних технік і концептуального мислення у дизайні [153].

У дослідженні А. Зунджич, П. В. Цакліс, С. Г. Юе (A. Zunjic, P. V. Tsaklis, X. G. Yue) [344] проведено аналіз взаємозв'язку ергономіки, безпеки та естетики в дизайні продуктів і систем. Автори підкреслюють, що візуальна привабливість не може розглядатися окремо від безпеки та адаптації до користувача. Це особливо актуально для смартодягу, де часто виникає складність у балансуванні

естетичних характеристик із технологічними компонентами, такими як датчики, електронні модулі та інші інтегровані системи.

Також у виданні «Smart clothes and wearable technology» за редакцією Дж. МакКанн, Д. Браїсон (J. McCann, D. Bryson) [267] розглянуто процес проектування смартодягу від вибору матеріалів до запуску продукту, загальні вимоги до поєднання текстильних структур із технологіями, типи виробничих технологій для розробки смартодягу, а також практичне застосування цих технологій із подальшою презентацією споживачам.

Логічним є звернення до праць авторів, у яких запропоновано концептуальні підходи до дизайн-проектування смартодягу. Зокрема, авторами Ч. Цю, Ю. Ху (C. Qiu, Y. Hu) [102] запропоновано концепцію дизайн-проектування смартодягу 3F+1I, що охоплює кілька ключових аспектів: моду (Fashion – Fashion Design), функціональність (Function – Functional Design), відчуття комфорту (Feel – Comfortable Design) та інтерактивність (Interactivity – Interactive Design). Також, науковцями М. Су, К. Керролл та Н. Кассілл (M. Suh, K. Carroll, N. Cassill) [291] узагальнено підходи різних авторів до проектування функціонального одягу, що може застосовуватися до дизайн-проектування смартодягу. Авторами детально описано принципи та вимоги до розробки смартодягу за різними сферами.

У роботі дослідників С. Імбесі, С. Скатагліні (S. Imbesi, S. Scataglini) [164] розглянуто розробку дизайну смартодягу для людей похилого віку. Автори пропонують використовувати типовий процес дизайн-проектування, орієнтований на користувача, який включає чотири основні етапи: планування, аналіз, створення та перевірку. У дослідженні також окреслено наявні технічні проблеми та запропоновано користувач-орієнтовану методологію проектування смартодягу, засновану на оцінці його прийняття потенційними користувачами.

Важливим аспектом проектування смартодягу є врахування чинників сприйняття та прийняття інновацій споживачами. У дослідженні Н. Чжу, К. Х. Лі (N. Ju, K. H. Lee) [182] проаналізовано вплив інноваційних характеристик смартодягу на опір інноваціям. Отримані результати свідчать про необхідність

зниження ризику неприйняття споживачами смартпродукції шляхом підвищення доступності, розробки виробів, безпечних для тривалого носіння, а також таких, що забезпечують підвищену продуктивність, довговічність і економічну доцільність.

Наступною групою праць є сучасні дослідження та розробки закордонних і вітчизняних науковців, присвячені використанню смарттехнологій у дизайні одягу. Вони охоплюють широкий спектр напрямів, від інтеграції сенсорних систем і електронних компонентів у текстильні матеріали до створення функціональних та адаптивних смартвиробів, здатних реагувати на фізичні та біометричні параметри користувача тощо.

Канадська дослідниця Дж. Берзовська (J. Berzowska) вивчає створення електронного текстилю, адаптивного одягу як носимого пристрою, а також використання реактивних матеріалів і «м'яких» інтерфейсів. Серед останніх її праць досліджуються інтерактивні костюми як інтерфейс передачі музичних сигналів та світловипромінюючий електронний одяг, що поєднує естетичні й технологічні властивості текстилю [82, 83].

А. С. М. Саєм (A. S. M. Sayem) – науковець із Манчестерського метрополітанського університету, який спеціалізується на інноваціях у текстильних технологіях та смартодязі. Він досліджує інтелектуальні системи електроодягу, включно з носимим текстилем і смартодягом для моніторингу здоров'я [223, 310]. Крім того, роботи А. С. М. Саєма охоплюють практичну розробку одягу з ЕКГ-електродами на текстильній основі, що забезпечує безпечне та зручне збирання біосигналів користувача [130].

Дослідження Л. І. Данн (L. E. Dunne) фокусуються на розробці інноваційних носимих технологій і інтегрованих систем електронного текстилю для покращення здоров'я та функціональних можливостей: від доступного одягу з «м'якою» робототехнікою, що адаптується до потреб користувача, до електронного текстилю для фототерапії жовтяниці у новонароджених [113, 325]. Л. І. Данн також досліджує модульні Plug-and-Play системи одягу для реабілітації нижніх кінцівок та має серед розробок одноручну клавіатурну рукавичку, що

дозволяє користувачам з обмеженою моторикою взаємодіяти з пристроями [230, 326].

Питаннями розробки інтелектуальних текстильних систем і носимих технологій із застосуванням глибокого навчання, сенсорної електроніки та інтегрованих механічних і біометричних вимірювань займається професорка Х. Тао з Гонконгського політехнічного університету. Серед її праць компресійні смартпанчохи, які використовують інтерпретовані глибокі нейронні мережі для адаптивної компресії та аналізу стану тканин і тіла людини, інтегрована носима система для моніторингу сили скелетних м'язів нижніх кінцівок [212, 213, 239].

Також вартими уваги праці науковців, що досліджують електронний та смарттекстиль: Ц. Ші (Q. Shi) [265], Ч. Хоу (C. Hou) [158], Б. С. Ганніган (B. C. Hannigan) [133], Г. Чо (G Cho) [202], В. Конкар (V. Koncar) [140], Г. Рамлов (H. Ramlow) [242] та інші.

Серед вітчизняних науковців питаннями застосування смарттехнологій у виготовленні текстильних виробів займається А. Т. Арабулі. У його наукових роботах представлені комплексні дослідження та практичні розробки одягу з інтегрованими електричними нагрівальними елементами: зокрема, він дослідив використання таких елементів у мотоциклетній куртці для підвищення комфорту водія, де нагрівальні елементи отримують енергію від працюючого двигуна мотоцикла [70]. Крім того, у статтях А. Т. Арабулі разом зі співавторами представлено особливості виготовлення жіночих зимових туристичних рукавичок та куртки з функцією підігріву, розроблено рекомендації щодо вибору раціональних конструкторсько-технологічних методів обробки окремих вузлів та рекомендації по догляду [9, 39]. В окремих роботах аналізуються екологічні та енергоощадні технології обробки трикотажних бавовняних полотен і визначаються шляхи підвищення їхньої якості [1].

Науковиця О. В. Захаркевич у своїх роботах досліджує сучасні напрями розвитку смартодягу та його застосування в дизайні. У статті, присвяченій аналізу асортименту смартодягу, розглянуто доступні на ринку види таких виробів, класифіковано їх за функціями та технологіями, а також окреслено

тренди й лідерів галузі, що дозволяє оцінити поточний стан і перспективи розвитку [337]. В іншому дослідженні проаналізовано технології, які можуть бути використані для танцювальних костюмів та дозволяють змінювати візуальні властивості костюма через мобільний додаток; на основі аналізу створено прототип костюма на базі світлодіодів і доведено, що керування ним через смартфон є більш зручним і конкурентоспроможним для танцюристів порівняно з традиційними пультами [234]. У ще одній праці О. В. Захаркевич із співавторами досліджуються параметри, які слід враховувати при розробці одягу з використанням алгоритмів глибокого навчання, що дозволяє оптимізувати дизайнерські рішення та підвищувати їхню функціональність [338].

Дослідженню інноваційних текстильних матеріалів і розробці функціонального смартодягу з використанням нанотехнологій присвячені праці Л. В. Назарчук. У роботах розглянуто створення компресійного смартодягу на основі магнітного нанотекстилю, що може застосовуватися для медичних і реабілітаційних потреб, а також досліджено умови формування відкритих пор у медичних текстильних матеріалах для лікування ран із використанням нанопорошків оксиду заліза [247-249]. Крім того, у праці [38] проаналізовано ключові напрями застосування NBIC-технологій (нано-, біо-, інформаційних та когнітивних технологій) у сучасному дизайні одягу, запропоновано класифікацію інновацій у текстилі та визначено перспективи розвитку функціонального одягу з розширеними можливостями.

У наукових працях професор М. Л. Рябчиков досліджує перспективи розвитку смартодягу та інноваційних текстильних матеріалів із використанням нанотехнологій і цифрових систем. У спільних дослідженнях, присвячених магнітним текстильним матеріалам, проаналізовано можливості впровадження тканин із наночастинками оксидів заліза, що надають матеріалам магнітних і бактеріостатичних властивостей та розширюють їх застосування у медичних і функціональних виробках смартодягу. Такі матеріали можуть інтегруватися в конструкцію одягу для створення систем моніторингу стану людини або захисних текстильних виробів із додатковими функціями [52, 53]. В окремому

дослідженні розглянуто підходи до використання алгоритмів обробки даних і цифрових технологій у смартодязі, що дозволяє створювати адаптивні текстильні системи, здатні аналізувати інформацію від датчиків і реагувати на зміни фізіологічних або зовнішніх умов [36].

Дослідження Л. М. Мельник зосереджені на удосконаленні структури та властивостей еластичного трикотажу для медичних компресійних виробів (панчіх, шкарпеток і чохлів для кукс). У її роботах вивчаються параметри трикотажної структури, використання еластомерних ниток, а також їх вплив на компресію, деформаційні властивості та стабільність виробів під час експлуатації. Також у спільних дослідженнях розглядається застосування цифрових технологій для більш точного проектування компресійних виробів, що сприяє вдосконаленню персоналізованих реабілітаційних текстильних виробів [195-197, 220].

Значна кількість українських науковців займається дослідженням можливостей використання інноваційних текстильних матеріалів. Так, дослідниця С. І. Арабулі у своїх наукових працях вивчає способи модифікації текстильних матеріалів за допомогою нанотехнологій, як, наприклад, синтез наночастинок металевого походження в пористій структурі текстилю для надання матеріалам властивостей підвищеного ультрафіолетового захисту [2, 71, 316]. Також у роботах С. І. Арабулі розглядається створення текстильних композитів із прогнозованими властивостями перенесення рідкої вологи, що дозволяє підвищити комфортність і функціональність текстильних виробів різного призначення [72].

Роботи О. П. Кизимчук присвячені вивченню ауксетичних текстильних матеріалів, які характеризуються від'ємним коефіцієнтом Пуассона та здатністю змінювати свою форму під час деформації [312, 313]. Також у її статтях розглядається розробка гібридних трикотажних тканин із використанням металевих ниток для екранування електромагнітного випромінювання [79, 309]. Ці дослідження спрямовані на створення текстильних матеріалів із новими

механічними та захисними властивостями, що можуть застосовуватися у смартодязі.

Науковцем С. М. Березненко розроблено технології виготовлення наномодифікованих ниток, а також проведено оцінку та порівняльний аналіз дії модифікованих шкіряних матеріалів із наноконпонентами срібла та міді для проектування швейних виробів з оздоровчо-профілактичними функціями [3, 5]. Крім того, у його дослідженнях запропоновано принцип зонально-диференційованого розташування елементів бездротових сенсорних мереж для моніторингу мікроклімату у підодяговому просторі [24].

Нанокмпозитні гідрогелі на основі природних матеріалів, придатні для використання в біотехнології та медицині, зокрема для створення медичних асептичних пов'язок вивчала професорка Н. П. Супрун [58]. Також у її дослідженнях розглядається застосування металевих реплік поверхні наноструктурного темплату як інструменту смарттекстилю, а також аналізуються електромагнітні властивості текстильних матеріалів, що відкриває можливості для розробки високофункціональних і інтелектуальних тканин [4, 54].

Щодо проблем розвитку смарттехнологій у дизайні одягу та перспективних напрямів цієї галузі існує низка наукових напрацювань дослідників.

У виданні «Smart Clothing: Technology and Applications» за редакцією Г. Чо (G. Cho) [272] визначено, що смартодяг має значний потенціал для майбутнього розвитку як у побутових, так і професійних сферах; очікується, що носимі технології стануть більш поширеними завдяки інтеграції датчиків, комунікаційних систем і енергетичних рішень безпосередньо в текстильні структури, що дозволить розширити застосування смартодягу в інтелектуальному моніторингу здоров'я, інформаційних технологіях і розвагах.

У розділі книги «Internet of Things and Its Applications» автори описують вплив Інтернету речей на розвиток смартодягу та носимих технологій, підкреслюючи їхній великий потенціал у різних сферах життєдіяльності людини.

Прогнозується удосконалення сенсорних систем і носимих пристроїв, які стануть тоншими, енергоефективнішими та більш інтегрованими в текстильні матеріали, а також розвиток персоналізованого й адаптивного дизайну [290].

У своїй роботі К. М. Б. Янсен (K. M. B. Jansen) аналізує розвиток технологій смартодягу, окреслюючи сучасний стан інтеграції електроніки та текстилю у носимі системи, розглядає ключові технічні й дизайнерські проблеми (такі як комфорт, надійність і масштабованість), а також пропонує шляхи формування майбутнього цієї галузі, зокрема через багатодисциплінарну співпрацю між дослідниками, промисловістю та користувачами для досягнення більш практичних, стійких і адаптованих рішень у сфері смартодягу [179].

Китайський автор Дж. Фенгфан (J. Fengfan) у статті розглядає сучасний стан і перспективи розвитку смартодягу. Він висвітлює основні проблеми галузі, від технічних обмежень до ринкових викликів, та підкреслює ключові напрямки майбутнього розвитку дизайну й функцій смартодягу, які можуть сприяти покращенню щоденного життя користувачів [128].

Автори Б. Аріядум, Р. Голланд, Д. Гаррісон (B. Ariyatun, R. Holland, D. Harrison) аналізують майбутні напрямки розробки смартодягу, виокремлюючи причини, чому ця категорія продуктів досі не вийшла на масовий ринок. Вони зазначають, що проблеми полягають не тільки в технічних аспектах, а також в недостатньому розумінні потреб і способу життя потенційних користувачів [73]. Тоді як у статті Н. Ю та К. Х. Лі (N. Ju, K. H. Lee) досліджується поведінка споживачів щодо смартодягу, виявляючи, що значна частина потенційних користувачів чинить опір новаціям через низьку оцінку корисності, ризику, естетичні побоювання й велику залежність від уже звичних носимих пристроїв, що стримує попит і поширення таких технологій [183].

Стан досліджень і перспективи розвитку смартодягу для охорони здоров'я в контексті старіння населення та зростання попиту на моніторинг фізичних показників досліджено в статті Р. Хуан (R. Huang) та співавторів. Вони розглядають сучасні застосування смартодягу для відстеження життєвих параметрів, оцінюють технологічні інновації, ринкові тенденції та конкуренцію

брендів, а також окреслюють проблеми й можливості розширення використання таких систем в охороні здоров'я [161].

Дослідники А. Ядав, К. Ядав (A. Yadav, K. Yadav) у роботі [330] розглядають розвиток смартодягу, що поєднує текстильні датчики, носимі технології та штучний інтелект для моніторингу фізіологічних показників людини. Автори аналізують сучасні технології, сфери застосування у медицині та спорті, а також окреслюють перспективи створення більш енергоефективних, функціональних і інтегрованих текстильних систем.

У зв'язку зі зростанням популярності смартодягу проблематика сталого розвитку набуває дедалі більшої уваги в наукових дослідженнях. У працях таких науковців як У. Брідіса, А. Валішевскіса, І. Зіемеле, І. Абеле (U. Briedis, A. Vališevskis, I. Ziemele, I. Abele) [86], а також К. Шішке, Н. Ф. Ніссен і М. Шнайдер-Рамелова (K. Schischke, N. F. Nissen, M. Schneider-Ramelow) [255] розглядаються концептуальні та прикладні аспекти сталого споживання і використання технологічних продуктів. Автори аналізують довговічність матеріалів та електронних компонентів у смартодязі, а також екологічні наслідки виробництва і використання гнучкої електроніки та інтелектуального текстилю, підкреслюючи важливість врахування життєвого циклу продукції та відповідального впровадження інновацій.

Комплексний аналіз життєвого циклу смартодягу та пов'язаних із ним екологічних ризиків представлено у дослідженнях Ц. Лі, Ч. Сюе, Ю. Ву, С. Цзен (Q. Li, Z. Xue, Y. Wu, X. Zeng) [203], Ш. Чжу, С. Лю (S. Zhu, X. Liu) [343], Г. Гонджу-Берк (G. Goncu-Berk) [139], які оцінюють вплив матеріалів, виробничих процесів та інтегрованої електроніки на екологічність продукції, пропонують впровадження системних моделей і принципів циркулярної економіки, а також інноваційні дизайнерські підходи для підвищення стійкості смартодягу без зниження його функціональних та естетичних якостей.

Окрему увагу ролі дизайнера у формуванні сталих підходів до проектування смартодягу приділено у статті О. Гурової, Т. Р. Меррітт, Е. Папахрістос, Й. Вааякярі (O. Gurova, T. R. Merritt, E. Papachristos, J. Vaajakari)

[143], а також у виданні «Shaping Sustainable Fashion: Changing the Way We Make and Use Clothes» за редакцією А. Гвілт, Т. Ріссанен (A. Gwilt, T. Rissanen) [144]. Дослідження показують, що дизайнери можуть перетворювати традиційний підхід на екологічно та соціально відповідальний, використовуючи свої рішення як «точки позитивного втручання» для зменшення негативного впливу модної індустрії та формування більш усвідомленої поведінки споживачів.

Проаналізовані наукові публікації свідчать, що галузь смарттехнологій у дизайні одягу є надзвичайно широкою та охоплює різноманітні напрями досліджень. Водночас більшість наявних робіт зосереджена переважно на технічних аспектах, тоді як досліджень, що розглядають смарттехнології з точки зору дизайнерського підходу, обмежена кількість, що підкреслює наукову новизну даного дослідження. Поєднання технічних рішень із дизайнерськими підходами робить розвиток смарттехнологій у сфері одягу актуальним та перспективним напрямом наукового пошуку. Це підтверджує необхідність систематизації наявних знань та проведення додаткових досліджень, що дозволить сформувати цілісне наукове обґрунтування та практичні рекомендації для подальшого розвитку галузі.

1.2 Джерельна база та методи дослідження

Актуальність роботи визначила необхідність застосування комплексної джерельної основи дослідження із залученням чисельних теоретичних праць зарубіжних та вітчизняних авторів та практичних напрацювань фахівців у галузі смарттехнологій в дизайні одягу. Аналіз матеріалів професійних журналів, веб-ресурсів виробників та інноваційних компаній дозволив систематизувати сучасні моделі та підходи до створення смартодягу, окресливши основні тенденції та перспективи розвитку цієї технологічної та дизайнерської сфери.

До *першої групи* джерел віднесено фундаментальні та теоретичні наукові праці, у яких висвітлюється історія моди та одягу, розглядаються їх класифікації, типології та основні принципи дизайн-проекування. До цієї групи належать

дисертації, монографії, статті у фахових наукових виданнях та матеріали наукових конференцій.

Дослідження історичних етапів розвитку моди, трансформації костюма та особливостей проєктних практик у дизайні одягу відображено у працях вітчизняних і зарубіжних науковців: О. В. Колосніченко [16], Т. Ф. Кротової [21, 23, 103], О. М. Лагоди [25, 26], М. Мельника [35], Н. В. Чупріної [61, 103], В. Quinn [241], S. Seymour [261], P. G. Tortora [303, 304] та ін. Окрему увагу приділено працям, присвяченим становленню та розвитку смартехнологій у дизайні одягу: Т. М. Fernández-Caramés, P. Fraga-Lamas [129], Т. Hughes-Riley, Т. Dias, С. Cork [162], К. Jothimani, S. Hemalatha, S. Selvaraj, R. Thangarajan [181], S. Mann [214, 216], A. Ometov, V. Shubina, L. Klus [228], К. А. Popat, P. Sharma [236], M. Suh, K. Carroll, N. Cassill, [291] тощо.

Також ця група джерел включає дослідження щодо класифікацій та типологій одягу: М. В. Колосніченко [14], Н. В. Остапенко [19, 43, 44], К. Л. Пашкевич [49], І. П. Скульської, О. І. Поліщук [55], а також праці, присвячені вивченню різновидів смартодягу та інноваційних текстильних матеріалів: Е. К. Carlson [191], Т. М. Fernández-Caramés, P. Fraga-Lamas [129], J. Geršak, К. N. Simončič [135], S. Jiang, O. Stange, F. O. Bätcke, S. Sultanova, L. Sabantina [180], P. Kiekens, L. Van Langenhove, С. Hertleer [190], Q. Li, Z. Xue, Y. Wu, X. Zeng [203], J. X. Wu, L. Li [180] та ін.

Принципи та вимоги до дизайн-проєктування традиційного одягу, в тому числі смартодягу, відображено у працях таких авторів: А. Варивончик, О. Пенчук, О. Пальцун [6], О. В. Колосніченко [13, 15], І. В. Косяк [20], А. Осадчої [42], К. Л. Пашкевич [45], А. Славінської та В. Мици [56], Н. В. Чупріної [60], S. Imbesi, S. Scataglini [164], N. Ju, К. Н. Lee [182], J. McCann, D. Bryson [267], А. Owens [153], С. Qiu, Y. Hu [102], M. Suh, K. Carroll, N. Cassill [291], А. Zunjic, P. V. Tsaklis, X. G. Yue [344] тощо.

У другій групі джерел охоплено наукові публікації, присвячені сучасному стану проблеми, новітнім розробкам, експериментальним проєктам і технологічним інноваціям в дизайні одягу. Сюди належать праці українських

дослідників: А. Т. Арабулі [1, 9, 39, 70], С. І. Арабулі [2, 71, 72, 316], С. М. Березненко [3, 5, 24], О. В. Захаркевич [234, 337, 338], О. П. Кизимчук [79, 309, 312, 313], Л. М. Мельник [195-197, 220], Л. В. Назарчук [38, 247-249], М. Л. Рябчиков [36, 52, 53], Н. П. Супрун [4, 54, 58], а також закордонних науковців: В. Ariyatun, R. Holland, D. Harrison [73], J. Berzowska [82, 83], U. Briedis, A. Vališevskis, I. Ziemele, I. Abele [86], G. Cho [202], L. E. Dunne [113, 230, 325, 326], J. Fengfan [128], G. Goncu-Berk [139], O. Gurova, B. C. Hannigan [133], C. Hou [158], R. Huang [161], K. M. B. Jansen [179], N. Ju, K. H. Lee [183], V. Koncar [140], Q. Li, Z. Xue, Y. Wu, X. Zeng [203], T. R. Merritt, E. Papachristos, J. Vaajakari [143], H. Ramlow [242], A. S. M. Sayem [130, 223, 310], Q. Shi [265], K. Schischke, N. F. Nissen, M. Schneider-Ramelow [255], X. Tao [212, 213, 239], A. Yadav, K. Yadav [330], S. Zhu, X. Liu [343].

Огляд цієї групи джерел дав змогу охарактеризувати практичне застосування смарттехнологій, визначити основні тенденції розвитку, а також виявити наявні виклики та перспективи, концептуальні напрями подальшого розвитку галузі.

До *третьої групи джерел* належать веб-ресурсів виробників та інноваційних компаній таких як: «Ororo Heated Apparel» (США) [221], «Myovolt» (Нова Зеландія) [124], «H.E.A.T.» (США) [145], «Avery Dennison» (США) [225], «Cute Circuit» (Велика Британія) [62], «HeiQ» (Таїланд) [151], «Tactus2» (США/Нідерланди) [335], «M2 Polymer Technologies» (США) [219], «Samsung» (Південна Корея) [118], «Adobe Research» (США) [159], «Softwear Automation» (США) [245], «Funktion*» (Німеччина) [122] та інші. Аналіз цих джерел дозволив узагальнити практичний досвід впровадження смарттехнологій у дизайн одягу, простежити напрями їх прикладного застосування, а також виявити актуальні інноваційні підходи та тенденції розвитку галузі.

До *четвертої групи джерел* віднесено матеріали електронних ресурсів професійних, науково-популярних та галузевих журналів, що спеціалізуються на висвітленні питань текстильних технологій, інженерних інновацій, смартодягу, моди та суміжних сфер. До цієї групи належать видання, орієнтовані на

професійну аудиторію та ширше коло читачів, зокрема «Textile Media Services» [299], «IEEE Spectrum» [301], «Textile World» [232], «Tech-Wear» [226], «T. Evo News» [244], «TexFash» [136], «Smithsonian Magazine» [256], «Verdict» [273], «Trend Hunter» [207], «Chet» [289], «Vogue» [342], «Vogue Business» [258], «Fashion United» [167], «Hiindia» [96], «Green Strategy» [323] та інші. Матеріали цих ресурсів містять аналітичні огляди та публікації, присвячені інноваційним розробкам і прикладам практичної реалізації смарттехнологій, а також відображають актуальні тенденції розвитку галузі, міждисциплінарні підходи та суспільно-культурний контекст функціонування смарттехнологій.

П'яту групу джерел представлено патентами як ранніх розробок, що відображають історичний розвиток смарттехнологій, так і новітніх, які характеризують їх актуальний стан [112, 113, 222, 244, 313].

У шосту групу джерел включено міжнародні та галузеві стандарти і нормативні документи, що містять визначення основних понять і термінів у сфері смарттехнологій, регламентують вимоги до матеріалів смартпродукції, зокрема смартодягу та інтегрованих електронних систем [75, 95, 109, 119, 165, 175, 240, 274]. Аналіз цієї групи джерел забезпечив нормативно-термінологічну основи дослідження та сприяв уніфікації понятійного апарату, використаного в роботі.

До *сьомої групи джерел* належать звіти міжнародних і галузевих організацій, аналітичні та ринкові дослідження, присвячені розвитку смарттехнологій у текстильній і дизайнерській сферах. До цієї групи належать документи Міжнародної електротехнічної комісії [283], звіт «Our Common Future» Всесвітньої комісії з навколишнього середовища та розвитку, а також аналітичні ринкові дослідження [327] і звіти компаній Research and Markets [120, 125, 268], Precedence Research [126] та Cognitive Market Research [270]. Матеріали цих джерел надають дані про тенденції розвитку ринку смартодягу, інноваційні технології та прогностні оцінки, що є важливими для комплексного аналізу стану і перспектив розвитку галузі.

Сукупність використаних у дослідженні джерел формують достатньо повну, достовірну та репрезентативну базу матеріалів. Опрацьовані групи джерел дозволили провести дослідження смарттехнологій у дизайні одягу та досягти встановленої мети й визначених завдань.

Методи дослідження. Сучасне вивчення смарттехнологій характеризується міждисциплінарним характером і вимагає залучення знань із різних наук, насамперед із дослідницьких та прикладних, оскільки повне розуміння цієї теми можливе лише за умов комплексного підходу до дослідження і врахування взаємодії різних наукових напрямів.

Відповідно, всебічне дослідження смарттехнологій у дизайні одягу стає можливим лише за умови застосування широкого спектру загальнонаукових і спеціальних науково-дослідних методів (історико-хронологічного аналізу, структурно-функціонального, структурно-описового, композиційного, художньо-стилістичного тощо).

Комплексне застосування методів аналізу та синтезу забезпечило можливість опрацювати значний масив літературних джерел, сформувані репрезентативну джерельну базу та системно висвітлити стан наукової розробленості теми, що у свою чергу дало змогу узагальнити існуючі підходи до вивчення смарттехнологій у дизайні одягу та визначити основні напрями розвитку досліджуваної проблематики.

Для вивчення еволюції смарттехнологій у дизайні одягу було використано метод історико-хронологічного аналізу, який дозволив простежити розвиток досліджуваного явища та виділити три основні етапи, починаючи від ранніх експериментальних розробок і закінчуючи сучасними технологічними рішеннями, що відображають поступовий розвиток підходів та методів у цій сфері.

Системний підхід застосовано для найбільш повного дослідження смарттехнологій як багатоаспектної цілісності з метою визначення притаманних їм дизайнерсько-технологічних особливостей.

З метою виявлення загальних закономірностей і зіставлення існуючих підходів були використані методи порівняльного аналізу, абстрагування та узагальнення, що дозволило створити схему взаємозв'язку між напрямками смарттехнологій у дизайні одягу, систематизувати класифікації носимих пристроїв і смартодягу за характерними ознаками, сформулювати цілісне уявлення про структуру смартодягу, а також виділити ключові аспекти та удосконалити процес його дизайн-проектування.

Дослідження сучасних розробок смартодягу проводилося з використанням методів композиційного, художньо-стилістичного, структурно-функціонального та структурно-описового аналізу. Метод експертного оцінювання використано для формування критеріїв оцінювання та визначення сучасних рішень, які забезпечують якість проектування та виготовлення смартпродуктів.

Комплекс аналітичних і прогнозних методів дозволив виявляти ключові тенденції розвитку ринку смартодягу, визначити основні проблеми та виклики, які стримують його зростання, а також оцінити потенційні шляхи їх подолання. Завдяки такому підходу вдалося встановити перспективні та концептуальні напрями подальшого розвитку галузі.

Таким чином, проблематика дисертаційної роботи визначає доцільність застосування запропонованих підходів і методів наукового пізнання для забезпечення об'єктивного дослідження смарттехнологій в дизайні одягу.

Висновки до розділу 1

1. Аналіз наукових джерел, присвячених дослідженню смарттехнологій у дизайні одягу, показав, що, попри значну кількість існуючих публікацій, більшість робіт зосереджена переважно на технічних аспектах. Досліджень, які розглядають смарттехнології саме з точки зору дизайнерського підходу, виявилось недостатньо, що обумовлює необхідність проведення більш ґрунтовного аналізу, узагальнення та систематизації. У межах роботи

виокремлено джерела, що становлять фундаментальні та теоретичні праці та охоплюють дослідження еволюції моди й одягу, становлення і розвитку смарттехнологій у дизайні одягу, існуючих класифікацій і типологій одягу, різновидів смартодягу та інноваційних текстильних матеріалів, а також принципів і вимог до дизайн-проектування традиційного та смартодягу. Поряд із цими джерелами виділено прикладні дослідження, присвячені інноваційним розробкам і конкретним прикладам практичної реалізації смарттехнологій в дизайні одягу.

2. Встановлено, що дослідження становлення смарттехнологій у дизайні одягу є фрагментарними та переважно розглядаються в межах окремих напрямів, через що постає необхідність їх систематизації та формування цілісного уявлення про еволюцію розвитку. Існуючі класифікації та типології одягу з інтеграцією смарттехнологій ґрунтуються на подібних підходах, однак вони відрізняються деталізацією та критеріями поділу, що свідчить про потребу подальшого узагальнення та впорядкування існуючих наукових напрацювань. Також у працях недостатньо висвітлено обґрунтування принципів і процесу проектування смартодягу, оскільки це вимагає балансування естетичних характеристик виробу та інтегрованих технічних елементів,

3. Виявлено, що наукові дослідження смарттехнологій у дизайні одягу в Україні мають переважно прикладний характер, зосереджуючись на окремих практичних рішеннях та вузьких сферах застосування. Теоретичні основи розвитку цієї галузі практично не розроблені, у більшості випадків смарттехнології розглядаються в загальному контексті інновацій, без глибокого аналізу їхніх специфічних характеристик і потенційного впливу на процеси проектування та створення одягу. Це підкреслює актуальність подальших комплексних досліджень, спрямованих на формування цілісної теоретичної бази та систематизацію знань у цій сфері.

4. Визначено репрезентативну базу матеріалів дослідження для забезпечення об'єктивності результатів роботи та класифіковано на сім груп джерел: фундаментальні та теоретичні наукові праці, серед яких дисертації,

монографії, статті у фахових журналах та матеріали конференцій; наукові публікації, присвячені сучасному стану проблеми, новітнім розробкам, експериментальним проєктам і технологічним інноваціям; веб-ресурси виробників та інноваційних компаній; електронні ресурси професійних, науково-популярних та галузевих журналів, що спеціалізуються на висвітленні питань текстильних технологій, інженерних інновацій, смартодягу, моди та суміжних сфер; патенти розробок; міжнародні та галузеві стандарти і нормативні документи; звіти міжнародних і галузевих організацій, аналітичні та ринкові дослідження.

5. Обґрунтовано, що всебічне висвітлення еволюції, типології та сучасних тенденцій смарттехнологій у дизайні одягу забезпечується комплексним застосуванням загальнонаукових методів, таких як аналіз, синтез, порівняння, абстрагування, узагальнення, аналітика та прогнозування, а також спеціальних науково-дослідних методів, зокрема історико-хронологічного, структурно-функціонального, структурно-описового, композиційного та художньо-стилістичного аналізу. Визначено системний підхід як універсальну методологію для дослідження смарттехнологій у дизайні одягу.

Основні результати цього розділу дисертації апробовано у статтях [18, 19, 47] та на науково-практичних конференціях [17, 30, 31].

РОЗДІЛ 2

ЕВОЛЮЦІЯ ТА ТИПОЛОГІЇ СМАРТТЕХНОЛОГІЙ У ДИЗАЙНІ ОДЯГУ

2.1 Смарттехнології: визначення, основні напрями та їх значення в дизайні одягу

На сучасному етапі, згідно з даними науково-інформаційного порталу Napowerk, смарттехнології визначено як технології, що включають пристрої, системи та програмні рішення, які інтегрують штучний інтелект, підключення до Інтернету та сенсорні системи для збору даних, прийняття рішень і виконання автоматизованих процесів [322]. Такі технології здатні навчатися на основі накопиченого досвіду, передбачати потреби користувачів та реагувати на змінні умови навколишнього середовища без прямого втручання людини, що забезпечує підвищення ефективності та оптимізацію процесів у різних сферах, зокрема в домашньому середовищі, охороні здоров'я, промислового виробництва та міській інфраструктурі.

До основних напрямів розвитку смарттехнологій належать *Інтернет речей, штучний інтелект, машинне навчання, аналітика великих даних, хмарні обчислення та робототехніка*, які у сукупності формують технологічне підґрунтя для створення інтелектуальних систем і продуктів нового покоління. (Додаток Д, рис. Д.4) [279].

Серед зазначених напрямів особливе значення має *Інтернет речей* (англ. Internet of Things, IoT), який забезпечує взаємодію фізичних об'єктів із цифровими системами та формує основу для створення мережеских інтелектуальних середовищ. Інтернет речей визначається як інфраструктура взаємопов'язаних об'єктів, людей, систем та інформаційних ресурсів разом із відповідними сервісами, що обробляють та реагують на інформацію, отриману з фізичного та віртуального середовищ [173].

Функціонування IoT базується на використанні фізичних пристроїв, оснащених датчиками, програмним забезпеченням та комунікаційними модулями, що забезпечують їх підключення до мережі та обмін даними в режимі реального часу [279]. Основою такого обміну є використання бездротових технологій передачі даних, зокрема Wi-Fi, Bluetooth, RFID та NFC, які забезпечують взаємодію пристроїв між собою та з інформаційними системами [186]. Завдяки цьому Інтернет речей формує єдину інформаційну мережу, у межах якої фізичні об'єкти здатні збирати, передавати та аналізувати дані, створюючи передумови для автоматизації та оптимізації різних процесів.

Виділяють 4 типи Інтернету речей [314]:

- 1) *споживчий* – пристрої для «розумного» дому, носима електроніка та персональні гаджети, які роблять повсякденне життя зручнішим;
- 2) *комерційний* – пристрої, що використовуються в охороні здоров'я, роздрібній торгівлі, логістиці та інших галузях для підвищення ефективності та обслуговування клієнтів;
- 3) *промисловий* – підключені машини, датчики та системи у виробництві, енергетиці та ланцюгах постачання, що оптимізують операції та продуктивність;
- 4) *інфраструктурний* – великомасштабні системи, що підтримують «розумні» міста, транспорт, енергетичні мережі та моніторинг навколишнього середовища.

У контексті нашого дослідження особливу увагу варто приділити носимій електроніці, що належить до споживчого типу IoT. Ця категорія включає пристрої, розроблені для носіння на тілі, які збирають, обробляють і передають дані в режимі реального часу.

Носимі пристрої керуються електронними компонентами та програмним забезпеченням і здатні здійснювати моніторинг [235]:

- фізіологічних параметрів (пульсу, частоти дихання, температури тіла, артеріальний тиск та ін.);

- поведінкових параметрів (положення тіла, рухової активності, патернів сну, рівня стресу та загальної фізичної активності).

Поєднуючи підходи Технічної комісії 124 ІЕС (International Electrotechnical Commission) [283] та Групи стандартизації ІЕС (SG) 10 [141] носимі пристрої [129] можна класифікувати за рівнем інтеграції у тіло користувача (Додаток Д, рис. Д.6).

Перший рівень інтеграції (аксесуари, що носяться) – малопотужні електронні пристрої, що можуть розташовуватися навколо корпусу та не потребують контакту зі шкірою. До цієї категорії відносяться смартгодинники, смартокуляри, фітнес-трекери, бездротові навушники та подібні гаджети. Такі пристрої функціонують як зовнішні цифрові інтерфейси між користувачем і інформаційними системами, забезпечуючи збір базових фізіологічних або поведінкових даних, відображення повідомлень, навігаційної інформації та показників фізичної активності. Їхня робота зазвичай базується на синхронізації зі смартфонами або хмарними сервісами, що дозволяє здійснювати аналіз отриманих даних, формувати рекомендації щодо фізичної активності та здорового способу життя. Завдяки простоті використання та відносній автономності ці пристрої стали найбільш поширеним сегментом ринку носимої електроніки [129, 141].

Другий рівень (текстильні носимі пристрої), у яких електронні компоненти датчики, провідні нитки та гнучкі мікросхеми інтегруються у структуру текстилю або у конструкцію одягу, що забезпечує більш тісний контакт із тілом користувача та підвищує точність вимірювання фізіологічних параметрів. Прикладом є смартодяг для спорту, охорони здоров'я, військової сфери та ін., що може здійснювати моніторинг серцевого ритму, температури тіла, рівня фізичної активності, положення тіла у просторі, а також параметрів навколишнього середовища. Важливою особливістю цього рівня є поєднання функціональних технологічних компонентів із традиційними вимогами до одягу – ергономічністю, функціональністю та естетичністю [129, 141].

Третій рівень (натільні пристрої, що піддаються кріпленню) – гнучкі та тонкі електронні пристрої, які кріпляться на шкіру. Вони можуть виконувати функції моніторингу життєвих показників, контролю стану здоров'я або навіть здійснювати терапевтичний вплив. Сюди відносяться біосенсори, електронні пластири та медичні датчики. Такі пристрої створюються на основі ультратонких гнучких матеріалів, біосумісних полімерів та мікроелектронних компонентів, що дозволяє їм повторювати форму поверхні тіла та забезпечувати стабільний контакт із шкірою. Завдяки цьому досягається висока точність вимірювання біометричних параметрів, таких як частота серцевих скорочень, рівень глюкози, артеріальний тиск, температура тіла або електрична активність м'язів і нервової системи. Подібні технології активно використовуються у медичному моніторингу, спортивній медицині, реабілітації та телемедицині [129, 141].

Четвертий рівень (імплантовані носимі пристрої) – високотехнологічні пристрої, що інтегруються всередину організму, працюють автономно, забезпечують моніторинг життєво важливих показників та можуть виконувати лікувальні або коригувальні функції. До цієї категорії належать кардіостимулятори, нейроімпланти, інтелектуальні протези та інші медичні імпланти. Такі системи створюються з використанням біосумісних матеріалів і складних мікроелектронних компонентів, що забезпечують довготривалу роботу в умовах біологічного середовища. Вони здатні реєструвати фізіологічні показники, а також впливати на роботу органів або нервової системи, виконуючи функції стимуляції, корекції чи підтримки життєво важливих процесів. Сучасні імплантовані пристрої можуть взаємодіяти з зовнішніми системами через бездротові канали зв'язку, що відкриває можливості для дистанційного медичного контролю, персоналізованого лікування та розвитку інтелектуальних біомедичних систем [129, 141].

З огляду на представлену класифікацію носимих пристроїв, важливими для дослідження є *текстильні носимі пристрої*, а саме смартодяг. На відміну від аксесуарів, що носяться, які вже досягли високого рівня технологічної сформованості та комерційної доступності, текстильні носимі пристрої

перебувають на стадії активного розвитку. Їхній потенціал зумовлений удосконаленням матеріалів та впровадженням нових технологій, що безпосередньо впливає на дизайн і потребує ґрунтовного наукового дослідження [129]. Ієрархічна організація смарттехнологій для дослідження дизайну одягу надана рис. 2.1.



Рис. 2.1. Ієрархічна організація смарттехнологій в контексті дослідження дизайну одягу

Повертаючись до розгляду основних напрямів розвитку смарттехнологій, доцільно детальніше зупинитися на аналізі аналітики великих даних та її взаємозв'язку з Інтернетом речей. Активне поширення IoT-пристроїв призводить до постійного генерування значних обсягів інформації, що потребує ефективних інструментів її зберігання, оброблення та інтерпретації. У цьому контексті особливого значення набуває концепція великих даних, яка формує основу для аналітичного опрацювання інформаційних потоків, що надходять із різноманітних цифрових систем.

Великі дані (англ. big data) визначаються як масштабні набори інформації, що характеризуються значним обсягом, різноманітністю, швидкістю надходження та мінливістю, і потребують використання спеціалізованих

технологій для ефективного зберігання, управління, маніпулювання та аналізу даних [172]. Такі дані формуються у процесі функціонування різних цифрових систем, зокрема сенсорних мереж, мобільних пристроїв та IoT-платформ.

Невід'ємною складовою роботи з великими масивами інформації є *аналітика даних* (англ. data analytics), що являє собою комплексний процес, який включає збір, перевірку, обробку та інтерпретацію даних, а також їх кількісну оцінку та візуалізацію [172].

У контексті функціонування IoT-систем *аналітика великих даних* відіграє ключову роль, оскільки дозволяє обробляти неструктуровану інформацію, що надходить із великої кількості підключених пристроїв, та трансформувати її у змістовні аналітичні звіти і практичні рекомендації [311]. Тобто поєднання технологій IoT і аналітики великих даних створює основу для формування інтелектуальних систем, здатних оперативно реагувати на зміни середовища та підтримувати прийняття обґрунтованих рішень.

Практичне застосування аналітики великих даних простежується у різних сферах суспільної діяльності. У медицині аналіз великих масивів даних сприяє ранньому виявленню пацієнтів, які можуть потребувати невідкладної допомоги, а також дозволяє оцінювати динаміку змін фізіологічних показників. У спортивній діяльності аналітичні методи застосовуються для оцінювання рівня фізичної активності, характеру навантажень і особливостей рухової поведінки з метою оптимізації тренувального процесу. У корпоративному середовищі аналітика великих даних забезпечує можливість аналізу робочих процесів, оцінювання ефективності діяльності персоналу та визначення напрямів підвищення продуктивності праці. Окрім того, результати аналітичної обробки даних можуть використовуватися у правових та страхових практиках для об'єктивної оцінки змін фізичної активності користувачів після травм [320].

Наступним важливим напрямом розвитку смарттехнологій є штучний інтелект, який у сучасних цифрових системах часто функціонує у поєднанні з технологіями машинного навчання. *Штучний інтелект* (англ. artificial intelligence, AI) визначається як технічна та наукова галузь, спрямована на

створення інженерних систем, здатних генерувати результати у вигляді контенту, прогнозів, рекомендацій або рішень для досягнення заданих людиною цілей.

Машинне навчання (англ. machine learning, ML) розглядається як процес оптимізації параметрів обчислювальної моделі за допомогою спеціальних алгоритмів таким чином, щоб поведінка моделі відображала закономірності даних або накопичений досвід [171]. Іншими словами, машинне навчання дозволяє системам автоматично вдосконалювати свою роботу на основі аналізу попередніх даних без прямого програмування кожної окремої дії.

У поєднанні технології штучного інтелекту та машинного навчання забезпечують можливість виконання складної обробки інформації, виявлення прихованих закономірностей у даних та формування оптимальних рішень у режимі реального часу [311]. У системах Інтернету речей ці технології відіграють роль інтелектуального аналітичного ядра, що дозволяє автоматизувати процеси аналізу даних і підвищити ефективність функціонування цифрових систем.

У носимих IoT-пристроях алгоритми AI/ML дозволяють виявляти та прогнозувати потенційні ризики для здоров'я користувача, оптимізувати індивідуальні програми лікування та профілактики, а також формувати персоналізовані рекомендації щодо фізичної активності, режиму сну та відновлення. Крім того, інтеграція технологій штучного інтелекту та машинного навчання сприяє підвищенню точності та надійності функціонування носимих пристроїв, зокрема шляхом корекції похибок у зібраних сенсорних даних та адаптації алгоритмів аналізу до індивідуальних характеристик користувача [260].

Ще одним важливим напрямом розвитку смарттехнологій є *хмарні обчислення* (англ. cloud computing), що являють собою технологічну модель, яка забезпечує мережевий доступ до масштабованої та адаптивної сукупності спільних фізичних або віртуальних ресурсів із можливістю самообслуговування та адміністрування на вимогу [174]. Хмарні платформи дозволяють ефективно

об'єднувати обчислювальні ресурси, сховища даних та програмні сервіси у єдину інфраструктуру, доступну через мережу Інтернет.

Для IoT-систем хмарні обчислення забезпечують зберігання та обробку великих обсягів інформації у віддалених центрах [311]. Масштабованість хмарних платформ дозволяє об'єднувати інформацію, що надходить із різних датчиків і джерел, формуючи цілісне уявлення про стан здоров'я, рівень фізичної активності та поведінкові характеристики користувача. Водночас централізований доступ до даних сприяє ефективній взаємодії між фахівцями різних галузей, полегшує процес прийняття обґрунтованих рішень і створює передумови для реалізації персоналізованих підходів до аналізу даних. Крім того, хмарна інфраструктура надає потужні обчислювальні ресурси для аналізу інформації в режимі реального часу, що значно підвищує ефективність роботи IoT-пристроїв і дозволяє оперативно реагувати на зміни показників, зафіксованих датчиками [65].

Робототехніка (англ. robotics) – прикладна наука, що займається проектуванням, розробкою, виготовленням та використанням роботів і автоматизованих систем для заміни людської праці [171]. Сучасні роботи можуть взаємодіяти з навколишнім середовищем, аналізувати отримані дані та виконувати завдання без людського втручання.

Подальший розвиток робототехніки тісно пов'язаний з інтеграцією мережевих технологій, зокрема Інтернету речей. У результаті такої інтеграції формується концепція *Інтернету роботизованих речей* (англ. Internet of Robotic Things, IoRT), яка передбачає поєднання роботизованих систем із сенсорними мережами, хмарними обчислювальними платформами та аналітичними інструментами обробки даних. У межах цієї концепції роботи, оснащені IoT-підключенням, здатні обмінюватися інформацією між собою та з іншими пристроями мережі, координувати свої дії та виконувати комплексні завдання у взаємодії з цифровими системами управління [193].

Прикладом є носимі роботизовані системи, а саме екзоскелети, призначені для підтримки й посилення рухових можливостей людини, зменшення фізичного

навантаження на опорно-руховий апарат і сприяння процесам реабілітації. Такі системи можуть інтегруватися в одяг або використовуватися як зовнішні пристрої, що надягаються поверх нього. Їх функціонування забезпечується поєднанням датчиків, актуаторів та алгоритмів керування, які здійснюють аналіз рухів користувача в режимі реального часу. На основі отриманих даних екзоскелети здатні адаптивно регулювати рівень механічної підтримки, допомагаючи під час ходьби, підйому вантажів або виконання повторюваних фізичних дій. У реабілітаційній медицині такі системи забезпечують контрольовану підтримку рухів, сприяють відновленню функцій опорно-рухового апарату після травм або захворювань. Тоді як у промисловій сфері та спортивному середовищі носимі роботизовані системи можуть підвищувати витривалість користувачів, зменшувати ризик травматизму та підвищувати ефективність виконання фізично складних операцій.

Узагальнена та систематизована інформація щодо основних напрямів розвитку смарттехнологій представлена в Додатку Е (табл. Е.1). Проведений аналіз свідчить, що зазначені напрями смарттехнологій функціонують не ізольовано, а формують взаємопов'язану систему. У межах цієї системи Інтернет речей забезпечує збір даних, аналітика великих даних структурує та інтерпретує отриману інформацію, хмарні обчислення створюють інфраструктуру для її зберігання та обробки, тоді як штучний інтелект і машинне навчання забезпечують виявлення закономірностей і формування обґрунтованих рішень. Робототехніка, у свою чергу, виступає інструментом реалізації цих рішень у фізичному середовищі. Детальна схема взаємозв'язку зазначених технологічних напрямів представлена на рис. 2.2.

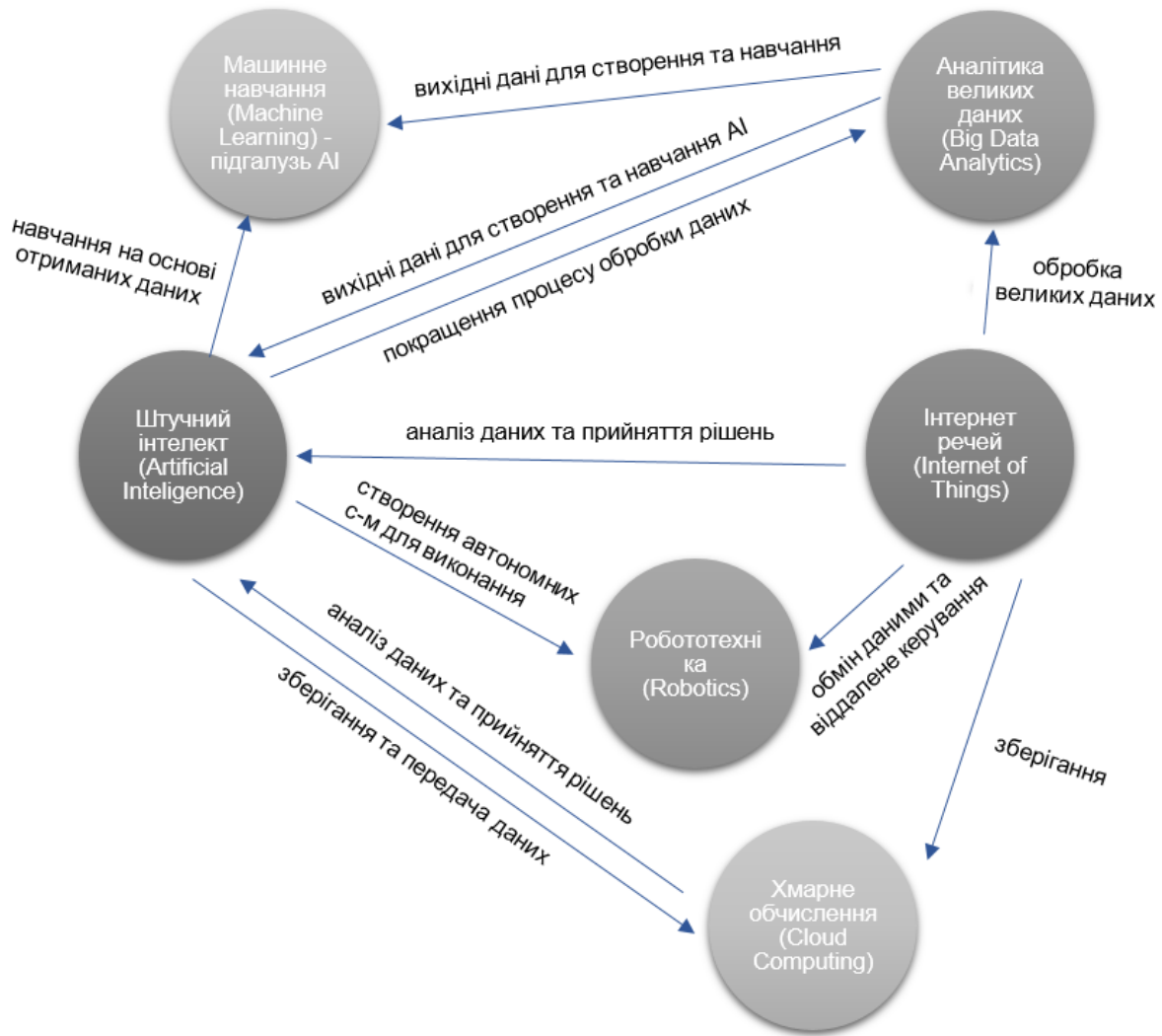


Рис. 2.2. Схема взаємозв'язку між напрямками розвитку смарттехнологій

Отже, враховуючи багатовекторний характер розвитку смарттехнологій, в контексті дизайну одягу їх слід розглядати через носимі текстильні пристрої, такі як смартодяг. Також встановлено, що взаємодія смартодягу з іншими напрямками розвитку смарттехнологій, такими як аналітика великих даних, штучний інтелект, машинне навчання, хмарні обчислення та робототехніка, суттєво розширює його інтелектуальні та функціональні можливості, забезпечуючи ефективний збір, обробку та інтерпретацію даних, а також адаптивну взаємодію з користувачем.

2.2 Становлення та розвиток смарттехнологій в дизайні одягу

Впровадження інновацій в індустрії моди тісно пов'язане з розвитком матеріалів, технологічних процесів і обладнання, які поступово змінювали підходи до дизайн-проектування та виробництва одягу. Ще з давніх часів люди використовували природні матеріали, шкіру, хутро, вовну, льон, і розвивали базові техніки обробки тканини: прядіння, ткацтво, фарбування та вишивку. Ці процеси були першими формами технологічних інновацій, що дозволяли створювати більш складний і функціональний одяг, а також підкреслювали соціальний статус і культурні особливості [261].

У стародавніх цивілізаціях, таких як Єгипет, Греція та Рим, інновації проявлялися через нові матеріали, фарбники та декоративні прийоми. Високий рівень майстерності в ткацтві та обробці тканин створював основу для експериментів із формою, кольором та фактурою одягу, а культурні й соціальні потреби стимулювали появу більш складних дизайнерських рішень. Середньовіччя та ранній Новий час відзначилися поступовим ускладненням технологічного процесу: поширюються нові тканини (шовк, оксамит, мереживо), розвиваються техніки вишивки й аплікації. Ці інновації не тільки впливали на естетику, а також створювали передумови для стандартизації та серійного виробництва. Масова торгівля та культурні обміни сприяли поширенню нових технологій і матеріалів у різних регіонах [241, 261].

Перехід від ручної праці до машинного способу виробництва, а також трансформація мануфактурної форми організації праці у фабричну систему пов'язуються з першою промисловою революцією, яка увійшла в історію під назвою індустріальної революції та традиційно датується періодом від середини XVIII до середини XIX ст. Основними інноваційними досягненнями цієї революції у текстильній та швейній галузях стали вдосконалення і механізація прядильних машин та ткацьких верстатів, а також винайдення швейної машини. Ці технології дали поштовх до стандартизації виробництва, підвищення точності

крою та якості тканин, а також створили основу для подальшого розвитку автоматизованих та комп'ютеризованих систем [29, 32, 241].

Під час другої промислової революції, що охопила кінець XIX – початок XX ст., текстильна галузь зазнала значного технологічного розвитку, який включав створення синтетичних волокон та впровадження нових методів фарбування й обробки текстильних матеріалів. Ці досягнення були тісно пов'язані з розвитком хімічної промисловості, що активно використовувала нафтопродукти як сировину, та зростанням ролі хімічних методів обробки матеріалів. Внаслідок цього з'явилися матеріали, такі як віскоза, нейлон, поліестер та поліамід, що поєднували високу міцність, еластичність та стійкість до змін вологості й температури. Завдяки таким властивостям виробники отримали можливість створювати одяг із заданими функціональними характеристиками, від спеціалізованих спортивних і технічних виробів до практичного повсякденного гардеробу, закладаючи одночасно технологічну основу для подальшої інтеграції нових функцій, які пізніше стали ключовими для розвитку смарттехнологій в одязі [29, 32, 241].

Важливим етапом розвитку смарттехнологій стала третя промислова революція, яку ще називають цифровою, що розпочалася в другій половині XX століття із широкого впровадження комп'ютерів, електроніки та інформаційно-комунікаційних технологій у виробництво і суспільні процеси. У дизайні одягу ці зміни проявилися через інтеграцію цифрових рішень та електронних компонентів у текстильні матеріали та вироби. Початок цьому процесу поклали 1960-ті роки, коли було відкрито матеріали з ефектом пам'яті форми, що здатні змінювати форму під впливом температури та повертатися до початкової. Ці матеріали спочатку застосовувалися в авіаційній та космічній галузях для створення автоматичних механізмів, термочутливих замків і пружин, але вже згодом були адаптовані для застосування в текстильній сфері. Дослідження показали, що зміна конфігурації матеріалу може бути передбачуваною і багаторазовою, що особливо цінно для розробки інтерактивних елементів в одязі [89].

Як відомо, багато інноваційних рішень зароджуються у стінах наукових установ. Зокрема, у 1970-х роках дослідник С. Манн (S. Mann) [215] з Массачусетського технологічного інституту (США) вивчав перспективи інтелектуального одягу та його можливості впровадження у повсякденне життя. Він описував концепцію одягу як носія комп'ютерних систем, здатних збирати дані про навколишнє середовище та користувача, обробляти їх і забезпечувати зворотний зв'язок у режимі реального часу. Проте, незважаючи на амбітність цих проєктів, технічні обмеження того часу, великі габарити електронних компонентів, низька енергоефективність, нестача гнучких і надійних датчиків, значно уповільнили прогрес комерційних рішень у цій сфері [81].

Наступним значним кроком у впровадженні інновацій у дизайн одягу стала розробка К. К. Колінса (C. C. Collins) з Інституту візуальних наук Сміта-Кеттлвелла (США), який у 1977 році представив перших у світі «фотожилет» для людей із вадами зору (Додаток В, рис. В.1). Цей пристрій був результатом приблизно десятиліття досліджень, спрямованих на створення носимого візуального протеза, здатного допомагати незрячим людям сприймати візуальну інформацію через тактильні відчуття. Пристрій складався з камери, встановленої на голові, яка захоплювала зображення навколишнього оточення, і тактильної матриці, розташованої на жилеті, що відтворювала це зображення у вигляді тактильних сигналів на шкірі користувача [106, 236].

У 1985 році відбулася ще одна спроба розробити інтелектуальний одяг, винахідник Г. Уейнрайт (H. Wainwright) створив перший повністю анімований світшот, який складався з оптоволокна, проводів і мікропроцесора для управління окремими кадрами анімації. У результаті вдалося відобразити на поверхні виробу повнокольоровий мультфільм [294].

Щодо впровадження інноваційних рішень у структуру текстилю, у 1980-х роках компанія «Канебо» (Японія) представила перші текстильні матеріали з фотохромними барвниками, що реагували на УФ-випромінювання (350–400 нм) і змінювали колір від світло-блакитного до темно-синього [157]. Водночас у 1987 році науковці І. Г. Брайант і Д. П. Колвін (Y. G. Bryant, D. P. Colvin) з

дослідницького центру «Triangle R&D» (США) розробили технологію інтеграції в текстильні волокна мікрокапсул зі зміною фази (англ. phase change materials – PCM), які поглинають або виділяють велику кількість прихованого тепла при переході між станами (зазвичай твердим і рідким) за певної температури. Патент на цей винахід було отримано в 1994 році [232].

Повертаючись до інноваційних виробів, у межах дослідницької програми «Land Warrior», ініційованої армією США, вчені з Технологічного інституту Джорджії (США) у 1996 році створили носиму материнську плату Wearable Motherboard (Додаток В, рис. В.2). Цей винахід включав в себе сорочку з інтегрованою провідною волоконною схемою, яка дозволяла моніторити фізіологічні показники, автоматично виявляти поранення від куль та осколків, що значно підвищувало безпеку та ефективність солдатів у військових операціях [267].

Період 2000-2009 років характеризується значною кількістю досліджень практичного спрямування. У 2000 році італійський дизайнер М. Ості (M. Osti) у співпраці з компанією «Philips» (Нідерланди) розробили куртку Levi's Industrial Clothing Division [228], яка була виконана з технологічного матеріалу, під яким знаходилася внутрішня мережа, призначена для підключення електронних гаджетів: телефону, плеєра, навушників і мікрофона (Додаток В, рис. В.3). Електронні компоненти розміщувалися у спеціальних кишенях і фіксувалися липучками, тож перед пранням їх потрібно було витягати. Незважаючи на те, що куртка не мала комерційного успіху, частково через високу ціну в 800 фунтів стерлінгів, її розробка стала революційною для свого часу та вплинула на подальший розвиток смартвиробів.

З часом інновації почали вносити свої корективи у предмети, які здавалися незмінними. Історично сонячні панелі виготовлялися зі скла або пластику, однак у 2001 році дослідники з Інституту фізичної електроніки Штутгартського університету (Німеччина) розробили волокна, здатні генерувати електрику під дією світла. На відміну від традиційних твердих панелей, ці волокна мали тонку гнучку структуру з аморфного кремнію. Коли світло потрапляло на поверхню

волокна, утворювався електричний струм, який міг живити невеликі портативні пристрої або заряджати батареї [256].

Наступна розробка була представлена у 2002 році на виставці Avantex у Франкфурті в Німеччині. Виробник чипів «Infineon Technologies» (Німеччина) та компанія «O'Neill» (США) створили куртку THE HUB для сноубордистів з інтегрованим повнофункціональним MP3-плеєром та модулем Bluetooth, що дозволяв керувати мобільним телефоном (Додаток В, рисунок В.4). Ця передова технологія була спрямована на створення одягу з розширеними можливостями, що дозволяло користувачам бездротово підключати свої пристрої та насолоджуватися музикою без необхідності додаткових аксесуарів. Якщо сноубордист мав здійснити телефонний дзвінок, стереосистема виступала в ролі гарнітури, а звук передавався через мікрофон, вбудований у комір куртки [148]. Подібний варіант куртки, Mp3Blue, з вбудованим MP3-плеєром та Bluetooth-з'єднанням був випущений у 2004 році тим же виробником «Infineon Technologies» у співпраці з німецькою компанією «Rosner» (Додаток В, рис. В.6) [155].

Неодноразово був відзначений міжнародними нагородами та професійними преміями винахід 2002 року бренду «CuteCircuit» (Великобританія) – джемпер HugShirt, призначений для відтворення відчуття обіймів на відстані (Додаток В, рис. В.5). Виріб містив вбудовані в текстильний матеріал датчики та тактильні приводи, які фіксували силу, тривалість і локалізацію дотику, після чого через мобільний застосунок і бездротовий зв'язок передавалися ці дані іншому користувачеві, де вони відтворювалися у вигляді відповідного тактильного сигналу [267].

У 2003 році компанія «Burton Snowboards» (США) у співпраці з «Apple» (США) представила куртку Burton Amp із інтегрованою системою керування музичним плеєром iPod (додаток В, рис. В.7). Куртка була виконана з водонепроникного матеріалу GORE-TEX, а керування iPod здійснювалося за допомогою технології SOFT-switch через м'яку гнучку панель, вбудовану в рукав. Плеєр розміщувався в спеціальній кишені на грудях, а сенсорні елементи

на рукаві дозволяли змінювати треки і регулювати гучність навіть у рукавицях [91].

У наступному 2004 році компанія «Madura Garments» (Індія) під брендом «Van Heusen» випустила сорочки Oxyrich, які вивільняють іони кисню. Ці вироби мали сприяти кращому самопочуттю в умовах високого стресу, підвищувати пильність і зосередженість, наприклад у людних місцях, на нарадах або в заторах, завдяки технології, що створювала навколо користувача активне середовище з іонами кисню [167].

Науковці Г. Уейнрайт (H. Wainwright) та Д. Бичков (D. Bychkov) у 2005 році розробили джинсову куртку, яка мала функцію зчитування електрокардіограми. Вбудовані датчики передавали дані на мобільний додаток, що дозволяло користувачам та медичним фахівцям спостерігати за показниками здоров'я на відстані [294]. У цьому ж році науковцями Н. А. Муглія, Дж. Рефельд та Н. Айзельт (H. A. Muglia, J. Refeld, H. Eiselt) був запатентований генератор, який перетворює енергію руху під час дихання людини на електричний заряд. Пристрій мав інтегруватися в одяг, наприклад жилет або пояс, і розташовуватися на ділянках грудей або живота, щоб використовувати енергію руху під час дихання для живлення інших носимих пристроїв [162].

У 2007 році американська винахідниця Лю Бюхлі (L. Buechley) спільно з компанією «Arduino» (Італія) розробили конструктор LilyPad Arduino, який складався з мікроконтролера, сенсорів і приводів, що можна пришивати до текстильного матеріалу за допомогою провідної нитки для створення інтерактивних виробів (Додаток В, рис. В.8). Конструктор підтримував програмування через середовище Arduino IDE, що робило його доступним для студентів, художників та розробників, дозволяючи створювати власні дизайни смартвиробів [200].

Ще одним вагомим внеском у розвиток смарттехнологій став запуск у 2008 році компаніями «O'Neill Europe» (Нідерланди) та «MyGuide» (Велика Британія) проекту NavJacket – супутникової навігаційної системи, інтегрованої в куртку з матеріалу Gore-Tex, спеціально розроблену для використання в гірських умовах

(Додаток В, рис. В.9). Виріб був оснащений GPS-модулем, вбудованим дисплеєм на рукаві та навушниками, інтегрованими в капюшон, через які передавалися навігаційні інструкції [229].

Також у 2009 році, завдяки спільним зусиллям дизайн-студії «Diffus Design» (Данія), експертів з вишивки «Forster Rohner» (Швейцарія), Данської школи дизайну та Данського науково-дослідного інституту Alexandra Institute, була створена кліматична сукня, яка реагувала на зміни концентрації CO₂ у навколишньому середовищі. Сукня визначала рівень CO₂ у повітрі та у відповідь створювала різноманітні світлові візерунки за допомогою світлодіодів, які варіювалися від повільних та регулярних пульсацій до швидких і хаотичних спалахів [207].

Наступний етап розвитку технологій, що розпочався приблизно з 2010 року, у науковій літературі визначають як четверту промислову революцію, або «Індустрію 4.0», яка характеризується інтеграцією Інтернету речей, штучного інтелекту, робототехніки, хмарних обчислень та інших інновацій.

У цей період, зокрема у 2010 році, була розроблена електролюмінесцентна пряжа [112], яка здатна випромінювати світло при проходженні електричного струму. Детальний опис технології було представлено у науковій публікації 2012 року [111]. Крім того, у 2012 році Д. Лян (D. Liang) у співпраці з іншими дослідниками повідомили про створення волокнистого термоелектричного матеріалу, що здатний генерувати електричну енергію від теплової різниці між тілом людини і навколишнім середовищем, що відкрило нові можливості для енергетичної автономії носимої електроніки [205].

Також у 2012 році бренд «КОВАКАНТ» (Німеччина) створив «плакучу сукню», яка стала частиною виставки «LOVE & LOSS» у музеї «Lentos» у Лінці, Австрія (Додаток В, рис. В.10). Проєкт було започатковано в межах одномісячної мистецької резиденції quartier21 під час виставки «Technosensual» у Музейному кварталі у Відні, Австрія. Сукня була задумана як ритуальний об'єкт для носіння на похороні. Концепція проєкту була натхненна азійською традицією найму професійних плакальниць, які голосінням допомагали виразити та полегшити

емоційний біль скорботних. Відповідно, виріб імітував плач, створюючи ефект «емоційної підтримки» для людини в жалобі. Технологічно сукня була оснащена системою сенсорів вологості та мікроконтролером, інтегрованими у текстильну структуру. Датчики реагували на сльози або підвищену вологість у зоні обличчя, після чого активувався вбудований механізм подачі води, що створював ефект «плачу» самої сукні [300].

У 2014 році американський бренд «Tommy Hilfiger» (США) представив інноваційну куртку із вбудованими сонячними панелями (Додаток В, рис. В.11). Виріб було створено у співпраці з компанією «Pvilion» (США), що спеціалізується на інтеграції гнучких фотоелектричних елементів у текстиль. Куртка була оснащена знімною панеллю з тонких сонячних модулів, розташованих на спинці виробу. Енергія, що генерувалася під впливом сонячного світла, накопичувалася у компактному акумуляторному блоці, який під'єднувався до внутрішньої частини куртки. Через стандартний USB-порт користувач міг заряджати смартфон або інші портативні пристрої [289].

Відомий бренд одягу в Індії «Arrow» у 2016 році випустив лінійку сорочок з інтегрованою NFC-технологією. (Додаток В, рис. В.12). Вбудована NFC-мітка в лівому манжеті виробу забезпечувала безконтактну взаємодію зі смартфоном, перетворюючи одяг на інтерфейс швидкого доступу до цифрових функцій. За допомогою одного дотику користувач міг обмінюватися електронними візитівками, відкривати персональний профіль у LinkedIn, запускати мультимедійний контент або активувати режим «не турбувати» під час ділових зустрічей. Оскільки NFC-мітка працювала без автономного живлення та активувалася через енергію смартфона, конструкція залишалася легкою, непомітною й придатною для повсякденного використання [74].

У межах колаборації між «Levi's» (США) і технологічним підрозділом «Google ATAP» (США) у 2017 році було створено інноваційну джинсову смарткуртку Levi's Commuter Trucker Jacket із технологією Jacquard, що дозволяла взаємодіяти зі смартфоном через жестову систему управління (Додаток В, рис. В.13). Технологія Jacquard полягала у використанні спеціальних

провідних ниток, інтегрованих у тканину манжети, та електронного модуля-тега, який під'єднувався до рукава і по бездротовому каналу з'єднував куртку зі смартфоном. За допомогою простих жестів, таких як тап, свайп або дотик по рукаву, користувач міг контролювати функції свого мобільного пристрою: перемикати музику, запускати навігацію, отримувати очікуваний час прибуття або приймати виклики, не витягуючи телефон із кишені [99].

У тому ж 2017 році компанія «Owlet Baby Caret» (Китай) представила мініатюрний бездротовий пристрій Owlet Smart Sock для моніторингу життєвоважливих показників новонароджених (Додаток В, рис. В.14). Пристрій виглядав як шкарпетка, яка кріпилася до ноги дитини, та здійснювала безперервне відстеження параметрів, таких як частота серцевих скорочень, насичення крові киснем та якість сну. Дані передавалися на мобільний додаток, що дозволяло батькам отримувати сповіщення в реальному часі та переглядати аналітику щодо безпеки, комфорту та фізіологічного стану дитини [107].

Ще ряд інноваційних розробок відбувся у 2018 році, а саме компанія «Nike» (США) подала заявку на патент сенсорного боді для занять йогою (Додаток В, рис. В.15). Цей виріб був оснащений вбудованими датчиками для визначення положення тіла, які відстежували механіку рухів під час виконання асан. Одяг підключався до спеціального мобільного додатка, який аналізував сигнали від датчиків у реальному часі; якщо будь-який із цих датчиків фіксував неправильне або небажане положення тіла, боді подавало тактильний зворотний зв'язок у формі вібрації, що допомагало користувачу коригувати поставу та рухи [244].

Також у 2018 році компанія «Samsung» (Південна Корея) розробила смарткостюм SmartSuit для тренувань спортсменів високого рівня, зокрема шорт-трекерів (Додаток В, рис. В.16). Костюм був оснащений кількома вбудованими датчиками, що відстежували положення тіла спортсмена з високою точністю, включно з вимірюванням відстаней між ключовими частинами тіла під час руху. Дані з датчиків передавалися на смартфон тренера, що дозволяло в реальному часі аналізувати техніку та позицію спортсмена для оптимізації

тренувального процесу. За потреби тренер міг надсилати тактильні сигнали вібрації, які спортсмен відчував через костюм, що допомагало коригувати рухи без відволікання від тренування [118].

Завершальною у межах розглянутого періоду є розробка смартпіжами e-skin Sleep & Lounge (Додаток В, рис. В.17), призначеної для людей похилого віку, що було представлено на виставці «Consumer Electronics Show» 2020 року компанією «Xenoma» (Японія). Виріб містив вбудовані датчики та електронні модулі, що забезпечували безконтактний моніторинг стану здоров'я, відстеження рухової активності, положення тіла під час сну та частоти дихання, а також виявлення раптових падінь. Зібрані дані передавалися на мобільний додаток або пристрій перегляду, де відображалися у вигляді аналітики про сон і активність користувача. У разі падіння або потенційно небезпечної події система могла автоматично сповістити опікуна чи родичів, забезпечуючи додатковий рівень безпеки [96].

Таким чином, встановлено, що застосування смарттехнологій у дизайні одягу є результатом поступової еволюції матеріалів, підходів до проектування та технологій виробництва. Від використання природних матеріалів і ручних технік до впровадження машинного виробництва та цифрових технологій одяг трансформувався з утилітарного виробу у технологічно інтегрований, багатофункціональний і персоналізований продукт, здатний адаптуватися до індивідуальних потреб користувача. Визначено, що ключовим чинником розвитку смарттехнологій в дизайні одягу стала третя промислова революція, яка сприяла інтеграції цифрових рішень та електронних компонентів у текстильні матеріали й вироби. Виділено три основні етапи розвитку смарттехнологій у дизайні одягу: початковий етап охоплює період з 1960 до 1999 року та характеризується появою перших винаходів і експериментальних досліджень; другий етап припадає на 2000-2009 роки й відзначається переходом до практичної реалізації та комерціалізації розробок, що супроводжується ускладненням конструкцій, зменшенням габаритів електронних компонентів, підвищенням їх енергоефективності та рівня інтеграції; третій етап, що охоплює

2010-2020 роки та пов'язаний із концепцією Індустрії 4.0, характеризується впровадженням Інтернету речей, штучного інтелекту, робототехніки та хмарних сервісів, що трансформує смартодяг у багатофункціональну адаптивну систему. Систематизовану інформацію щодо хронологічного розвитку смарттехнологій у дизайні одягу подано в додатку Д, рис. Д.1-Д.3.

2.3 Різновиди смартодягу за сферами використання та функціями

Сьогодні існує велике різноманіття смартодягу, що зумовлено варіативністю його конструктивних рішень, поєднанням різних матеріалів, способів інтеграції електронних компонентів і широким набором виконуваних функцій. Комбінування датчиків, провідних текстильних матеріалів, мікроконтролерів і джерел живлення дає змогу створювати вироби, адаптовані до конкретних умов експлуатації та потреб користувачів. Таким чином, смартодяг доцільно розділяти за функціями та сферою використання: *для спорту та фітнесу, охорони здоров'я, військової й оборонної сфер, забезпечення безпеки, розважальної та модної індустрії, освітньої діяльності, а також для повсякденного використання* (Додаток Д, рис. Д.7) [185, 203].

Спорт та фітнес є однією із найпоширеніших сфер застосування смартодягу. Спортсмени, від аматорів до професіоналів, використовують смартвироби для контролю фізичної активності, оптимізації тренувань та зниження ризику травм [330].

Найчастіше такі вироби забезпечують моніторинг частоти серцевих скорочень, дихання, об'єму легеневої вентиляції та рівня активності, що дозволяє відстежувати інтенсивність навантаження та правильно коригувати тренувальний режим. Це реалізовано, наприклад, у смартмайках Hexoskin Smart Shirt компанії «Hexoskin» (Канада) (Додаток В, рис. В.18) [152].

Аналогічну функцію контролю серцевого ритму виконує компресійна майка Polar Team Pro Shirt компанії «Polar Electro» (Фінляндія). Додатково виріб оснащений інтегрованими текстильними електродами для точного вимірювання

пульсу без використання окремого нагрудного ремня (Додаток В, рис. В.19) [34].

Вбудовані датчики можуть фіксувати кількість кроків, витрачені калорії та загальну рухову активність. Прикладом є спеціальний спортивний бюстгальтер SUPA Powered Sports Bra компанії «Supa Tech» (Китай), що використовує алгоритми штучного інтелекту для аналізу параметрів руху, оцінювання інтенсивності тренування та формування персоналізованих рекомендацій (Додаток В, рис. В.20) [292].

Окремі вироби оснащені датчиками для контролю м'язової активності та дихання, що дає можливість аналізувати техніку виконання вправ і рівень залучення окремих груп м'язів. Зокрема, смартодяг компанії Athos (США) містить електроміографічні датчики, які вимірюють ступінь напруження м'язів у режимі реального часу, що допомагає спортсменам коригувати поставу, покращувати техніку та запобігати м'язовому дисбалансу (Додаток В, рис. В.21) [77].

Для бігунів розроблено спеціальні рішення, такі як шкарпетки Sensoria Smart Socks від «Sensoria» (США), які контролюють положення стопи, довжину кроку та каденс (Додаток В, рис. В.22). Отримані дані дають змогу вдосконалювати техніку бігу та знижувати ризик поширених травм, зокрема перевантаження гомілки або ахіллового сухожилля [63].

У командних видах спорту широко використовуються смартжилети з GPS-трекерами та біометричними датчиками, наприклад системи Catapult Vector від компанії «Catapult Sports» (Австралія), які дозволяють тренерам у режимі реального часу відстежувати фізіологічні показники та навантаження одразу кількох спортсменів, аналізувати інтенсивність їх рухів, швидкість, дистанцію та рівень втоми (Додаток В, рис. В.23). Такий підхід забезпечує більш точне управління тренувальними навантаженнями, запобігає травмам та оптимізує командну підготовку [94].

Смартодяг активно застосовується і у сфері охорони здоров'я для забезпечення безперервного моніторингу фізіологічних показників у режимі

реального часу, що дає змогу відстежувати стан здоров'я користувачів, підвищує ефективність лікування та реабілітації, а також сприяє ранньому виявленню й профілактиці захворювань [331].

Одним із прикладів є біометрична футболка Smart Healthcare компанії «Renben Technology Clothing» (Китай), яка забезпечує реєстрацію електрокардіограми та частоти серцевих скорочень без використання традиційних електродів (Додаток В, рис. В.24). Дані передаються до цифрових платформ для дистанційного кардіомоніторингу, що є особливо важливим для пацієнтів із серцево-судинними захворюваннями, оскільки дозволяють здійснювати тривале спостереження поза межами клініки [150].

Смартодяг може застосовуватися також для моніторингу дихання, як у костюмі Howdy Breath бренду «ComfTech» (Італія). Цей текстильний виріб із вбудованими датчиками дозволяє контролювати частоту і ритм дихання, а також може застосовуватися в реабілітації, пульмонології та дистанційному спостереженні за пацієнтами (Додаток В, рис. В.25) [237].

У догляді за людьми з діабетом використовуються смартшкарпетки Siren Socks від «Siren» (США), оснащені температурними датчиками, які постійно контролюють температуру стопи та виявляють зони запалення для запобігання утворенню виразок (Додаток В, рис. В.26). Раннє сповіщення користувача сприяє своєчасному медичному втручанням та зниженню ризику ускладнень [92].

Для післяопераційного догляду застосовуються текстильні смартпов'язки, як DermaTrax Smart Bandage, розроблені у співпраці ірландських та нідерландських наукових установ. Пов'язки відстежують рівень вологості, температуру та інші параметри стану рани (Додаток В, рис. В.27). Це дозволяє медичному персоналу оперативно виявляти ознаки інфекції та коригувати лікування [275].

Окрім цього, смартодяг розробляється для моніторингу набряків нижніх кінцівок, наприклад компресійні панчохи компанії «Edema ApS» (Данія) (Додаток В, рис. В.28), які потенційно можуть застосовуватися і для моніторингу серцевої недостатності або прееклампсії під час вагітності [160].

Інтеграція алгоритмів штучного інтелекту дозволяє інтерпретувати великі масиви фізіологічних даних і прогнозувати можливі загострення стану, такі як серцеві або астматичні напади. Додатково сучасні розробки передбачають використання технологій енергозбору, наприклад текстильних наногенераторів або гнучких сонячних панелей, що забезпечують автономне живлення датчиків.

Після розгляду найбільш поширених сфер застосування смартодягу доцільно виокремити *військову й оборонну промисловість* як одну з ключових галузей з високим рівнем інноваційності, оскільки саме в ній зосереджуються передові наукові розробки, новітні матеріали та технологічні рішення, орієнтовані на підвищення ефективності, безпеки й виживання людини в екстремальних умовах. Багато інновацій, в тому числі і смартодяг, спочатку створювалися саме для військових потреб, які згодом знаходили широке застосування у інших сферах [129].

Військова форма може бути оснащена датчиками для моніторингу життєвих показників, таких як серцевий ритм, рівень стресу та температура тіла солдатів. Отримана інформація в режимі реального часу передається до командного центру, де аналізується фізичний стан бійців і приймаються рішення щодо їхньої подальшої підтримки, зміни навантаження або евакуації. Прикладом є розробка компаній «BAE Systems» та «Intelligent Textiles Limited» (Велика Британія) бронезилету з електронним текстилем Broadsword Spine, який дозволяє підключати електронні пристрої без дротів, значно зменшуючи вагу виробу (Додаток В, рис. В.29). Також передбачені автономні джерела живлення для безперервної роботи датчиків і комунікаційних модулів у польових умовах [280].

Підсилення фізичних можливостей військовослужбовців можна забезпечувати за допомогою екзоскелетних систем. Наприклад, у межах проєкту Tactical Assault Light Operator Suit (TALOS), ініційованого Командуванням спеціальних операцій США, створено бойовий броньований екзоскелет (Додаток В, рис. В.30). Основна функція полягає у підвищенні сили та витривалості бійця, зменшенні навантаження під час перенесення спорядження, а також інтеграції

датчиків для контролю фізіологічних параметрів і стану навколишнього середовища [340].

У смартодяг можуть бути інтегровані куленепробивні елементи та датчики для виявлення хімічних і біологічних загроз. Прикладом є текстильний браслет Chameleon Armband компанії «Morphix Technologies» (США), здатний виявляти небезпечні хімічні речовини в навколишньому середовищі та оперативно сигналізувати користувачу про загрозу, змінюючи колір датчиків (Додаток В, рис. В.31). Така функція дозволяє своєчасно реагувати на небезпеку та мінімізувати ризики для військовослужбовців під час бойових дій [97].

Смартодяг для захисту та безпеки є ще одним з важливих напрямів та в основному розробляється для людей похилого віку, осіб із захворюваннями чи інвалідністю, а також для представників професій із підвищеним рівнем ризику. Цей одяг зазвичай має функції сигналізації, позиціонування, запобігання забрудненню та стійкості до високих температур, щоб зменшити небезпеку для користувачів у повсякденному житті або суворих умовах [203].

Наприклад, для літніх людей компанією «S-AIRBAG» (Китай) розроблено захисний жилет із вбудованою системою подушок безпеки (Додаток В, рис. В.32). Виріб оснащений датчиками руху, які розпізнають падіння, і в разі загрози миттєво активують повітряні подушки для захисту голови, шиї, спини, стегн та тазу, що суттєво знижує ризик переломів та серйозних травм. Крім того, система може автоматично надсилати сповіщення доглядачам або родичам про факт падіння, забезпечуючи швидке реагування та надання допомоги [252].

Для працівників небезпечних професій, особливо пожежників, смартодяг може вимірювати частоту серцевих скорочень, відстежувати рухи, виявляти токсичні та горючі гази в навколишньому середовищі, а також контролювати температуру й відносну вологість як усередині, так і зовні виробу. Прикладом є розробка науковців Західночеського університету в Пльзені (Чехія), які створили захисний костюм, що дозволяє своєчасно реагувати на перегрів, виснаження або небезпечну концентрацію газів. Попередження здійснюється за допомогою акустичної сигналізації (Додаток В, рис. В.33) [285].

Задля відстеження місцезнаходження працівників у реальному часі в умовах поганої видимості або під час рятувальних операцій використовуються GPS-модулі, які забезпечують швидке реагування у разі надзвичайних ситуацій, як наприклад, в костюмі для пожежників швейцарської компанії «Wearin'» (Додаток В, рис. В.34) [243].

GPS-системи також використовуються для робочого одягу будівельників, як у проєкті ConIoT компанії «Dimex Oy» (Фінляндія). У цьому випадку відстежується не лише місцезнаходження працівника, а й рух будівельної техніки на майданчику. У разі небезпечного наближення техніки датчики, вбудовані в куртку, подають попереджувальний сигнал. Додатково для підвищення видимості та безпеки виріб оснащено світлодіодним оптичним волокном, що покращує помітність працівника в умовах обмеженої видимості (Додаток В, рис. В.35) [271].

Смартодяг для розваг відкриває нові можливості для інтерактивних ігор із використанням VR/AR-реальності, а також може використовуватися під час музичних шоу, сценічних виступів і в нічних клубах [203].

Наприклад, костюм *Teslasuit 4* компанії «Teslasuit» (Велика Британія) використовує електростимуляцію м'язів і нервових закінчень для відтворення реалістичних фізичних відчуттів, синхронізованих із подіями у віртуальному середовищі, а також оснащений інерційними датчиками для точного відстеження рухів тіла (Додаток В, рис. В.36). Інтегровані біометричні датчики, зокрема для вимірювання частоти серцевих скорочень, дають змогу адаптувати VR/AR-контент відповідно до фізіологічного стану користувача [298].

Іншим прикладом є тактильна футболка *OWO Skin* від компанії «OWO Game» (Іспанія), яка має 10 зон стимуляції тіла та здатна відтворювати понад 30 різних відчуттів, таких як імітацію потрапляння куль, укусів комах, колючих або тупих ударів тощо (Додаток В, рис. В.37). Це дозволяє гравцеві буквально «відчувати» події гри на власному тілі [67].

У музичних перформансах показовим є виріб *Sound Shirt* бренду «CuteCircuit» (Велика Британія). Ця сорочка перетворює звук на тактильні

імпульси, передаючи музику через вібрації у різних зонах тіла (Додаток В, рис. В.38). Технологія використовується, для створення інклюзивного музичного досвіду для людей із порушеннями слуху [286].

Крім того, смартодяг може реагувати на музику або світлові ефекти під час концертів чи вечірок, підсвічуючись і змінюючи візуальні ефекти в ритмі композиції. Прикладом є сукня Infinity Mirror Dress компанії «ETERESHOP» (Польща), що поєднує LED-екран і дзеркальні світлові ефекти, створюючи динамічне, синхронізоване зі сценою візуальне шоу (Додаток В, рис. В.39) [166].

Смартодяг у модній індустрії дозволяє дизайнерам створювати інтерактивні та адаптивні вбрання, які змінюються залежно від умов або настрою власника. Такі рішення поєднують естетику Haute Couture із цифровими технологіями, формуючи новий напрям технологічної моди.

Одним із провідних брендів у цій сфері є CuteCircuit (Велика Британія) [169]. Наприклад, сукня MFA Dress оснащена вбудованими світлодіодами, які дозволяють змінювати колір і візерунок тканини в режимі реального часу, створюючи динамічні світлові ефекти під час показів або публічних заходів (Додаток В, рис. В.40 – а). Подібні технології застосовувалися також у колекціях цього бренду у сезонах осінь-зима 2012/13 (Додаток В, рис. В.40 – д), осінь-зима 2014/15 (Додаток В, рис. В.40 – г), весна-літо 2018/19 (Додаток В, рис. В.40 – в), де інтегровані LED-елементи формували анімовані візуальні композиції безпосередньо на поверхні одягу.

Окрім світлових ефектів, смартодяг може адаптуватися до фізіологічних параметрів користувача. Прикладом є Graphene Dress від CuteCircuit – сукня з використанням графенових технологій, яка здатна реагувати на температуру тіла, змінюючи свої теплоізоляційні властивості (Додаток В, рис. В.40 – б). Такий підхід поєднує функціональність, дизайн та демонструє потенціал смартматеріалів у створенні адаптивного одягу нового покоління Haute Couture.

У сфері освіти смартодяг використовується для покращення досвіду викладання та навчання, поєднуючи інтерактивні технології з освітнім

контентом. Такі рішення сприяють залученню дітей до навчального процесу, розвитку уяви, сенсорного сприйняття та когнітивних навичок [331].

Прикладом є створені американським розробником Х. Мердоком інтерактивні піжами Smart PJ із 47 унікальними точковими візерунками, що нагадують систему, подібну до шрифту Брайля (Додаток В, рис. В.41). Кожен із цих візерунків після сканування за допомогою смартфона чи планшета активує окрему історію або пізнавальний матеріал про тварин через безкоштовні мобільні застосунки для iOS та Android. Такий формат взаємодії сприяє розвитку навичок читання та слухового сприйняття, розширенню словникового запасу, пізнавального інтересу до навколишнього світу, а також формуванню самостійності у користуванні цифровими технологіями. Крім того, інтерактивний характер навчання стимулює уяву, асоціативне мислення та когнітивну активність дитини [278].

Ще одним прикладом використання смартодягу в сфері освіти є розробка китайських дослідників Ч. Ту, Л. Ніу, Ж. Цуй і К. Лю, що ґрунтується на врахуванні особливостей формування гендерної обізнаності дошкільнят (Додаток В, рис. В.42). Інтеграція сенсорних елементів дотику та звуку в конструкцію одягу виконує функцію інтелектуальних сигналів і нагадувань, забезпечуючи інтуїтивне навчання через ігрову взаємодію. Такий формат підвищує залученість дітей до освітнього процесу, сприяє кращому засвоєнню інформації та водночас допомагає педагогам і батькам коректно й делікатно пояснювати питання гендерної ідентичності. З огляду на вікові особливості та обмежений рівень самоконтролю дошкільнят, разом із виробом передбачено мобільний застосунок, що дає змогу дорослим дистанційно керувати інтелектуальною системою одягу відповідно до конкретних умов його використання [308].

Підвищення фізичної активності дітей, тренування швидкості реакції, розвиток координації рухів та формування впевненості у власних можливостях через ігрову взаємодію реалізовано у стартапі Wiggly (Мексика). Куртка Wiggly поєднує естетичну привабливість і захист від несприятливих погодних умов із

інтерактивними функціями: вона оснащена динаміками для відтворення пісень, а також голосовими й світловими підказками, які спонукають дітей рухатися відповідно до інструкцій, перетворюючи процес одягання на активну та розвивальну гру (Додаток В, рис. В.43) [305].

Смартодяг для *повсякденного використання* має багато рішень, які підвищують комфорт, зручність та індивідуальні можливості користувача в буденному житті. Так, вироби можуть автоматично регулювати температуру залежно від погодних умов і рівня фізичної активності, наприклад як костюм Skin Fit від бренду «FNDN» (США), який має базовий шар з інтегрованими нагрівальними елементами, що забезпечують рівномірний розподіл тепла та підтримання комфортної температури тіла в холодну пору року (Додаток В, рис. В.44). Подібні рішення дозволяють мінімізувати використання громіздкого верхнього одягу та підвищити мобільність користувача [131].

Смартодяг може взаємодіяти з емоційним станом людини. Наприклад, Smart Second Skin від бренду «eScent» (Велика Британія) поєднує текстиль із датчиками, мікрочастинками та системою доставки ароматів, які активуються відповідно до біометричних показників і настрою користувача. У відповідь на зміну емоцій тканина дифузує аромат, що сприяє релаксації, підвищенню концентрації або покращенню настрою (Додаток В, рис. В.45) [277].

Також светр GER від «Sensoree» (США) використовує датчик, який реєструє електропровідність шкіри на руках для визначення рівня збудження користувача (Додаток В, рис. В.46). Отримані дані передаються в деталь коміру із вбудованими LED-світлодіодами, що миттєво відображають емоційний стан через кольорове світіння. Такий підхід створює нову форму невербальної комунікації та забезпечує користувачу біологічний зворотний зв'язок [134].

Отже, проведений аналіз дав цілісне уявлення про основні сфери використання смартодягу та його ключові функції, що підтверджено конкретними прикладами їх практичної реалізації. Серед основних сфер застосування смартодягу виділено: спорт і фітнес, охорона здоров'я, військова й оборонна галузі, захист і безпека, розважальна та модна індустрія, освітня

діяльність, а також повсякденне використання. Встановлено, що найбільш поширеними є розробки у сферах спорту та фітнесу, а також охорони здоров'я, де смартодяг переважно використовується для відстеження фізіологічних параметрів тіла користувача. У військовій та сфері безпеки переважають інноваційні розробки високого технологічного рівня, спрямовані на підвищення захисту, витривалості та ефективності користувача в умовах підвищеної небезпеки; встановлено, що частина таких технологій згодом адаптується для повсякденного застосування смартодягу з метою підвищення комфорту, зручності та розширення індивідуальних можливостей користувача. Визначено, що у сфері освіти кількість реалізованих проєктів є обмеженою, однак цей напрям перебуває на етапі активного формування та експериментального впровадження, орієнтуючись на забезпечення інтерактивності, розвиток когнітивних навичок і підвищення рівня залученості до навчального процесу. Натомість у сфері розваг і моди спостерігається активний розвиток комерційно орієнтованих рішень для ігрової індустрії, інтерактивних перформансів і сценічних виступів, де смартодяг виконує функції візуалізації, сенсорної взаємодії та формування нових способів комунікації з цифровим середовищем.

2.4 Типологія смартодягу на основі його технічної та матеріальної складових

Смартодяг має складну організацію через наявність електронних та цифрових компонентів, які необхідно поєднувати з формоутворювальними та композиційними рішеннями. Відповідно до проаналізованої наукової літератури [129, 190, 203] встановлено, що запропоновані дослідниками підходи до визначення структури смартодягу мають значний ступінь подібності, хоча відрізняються рівнем деталізації. Узагальнення цих підходів дає змогу сформулювати цілісне уявлення про всі ключові елементи та функціональні частини смартодягу. У межах даного дослідження нами запропоновано поділ структури смартодягу на дві основні складові: *технічну та матеріальну*.

Технічна складова смартодягу визначає рівень його функціональності, адаптивності та автоматизації (рис. 2.3). Виділено чотири основні підсистеми смартодягу, що виконують критично важливі функції, такі як збір та отримання інформації; передача та обробка даних; прийняття та реалізація рішень; енергозабезпечення та зберігання даних, які в сукупності дозволяють смартодягу сприймати, реагувати та адаптуватися до зовнішніх і внутрішніх змін у режимі реального часу. Завдяки чітко структурованій організації та взаємозв'язку між модулями смартодяг трансформується з пасивного об'єкта в активного помічника користувача.

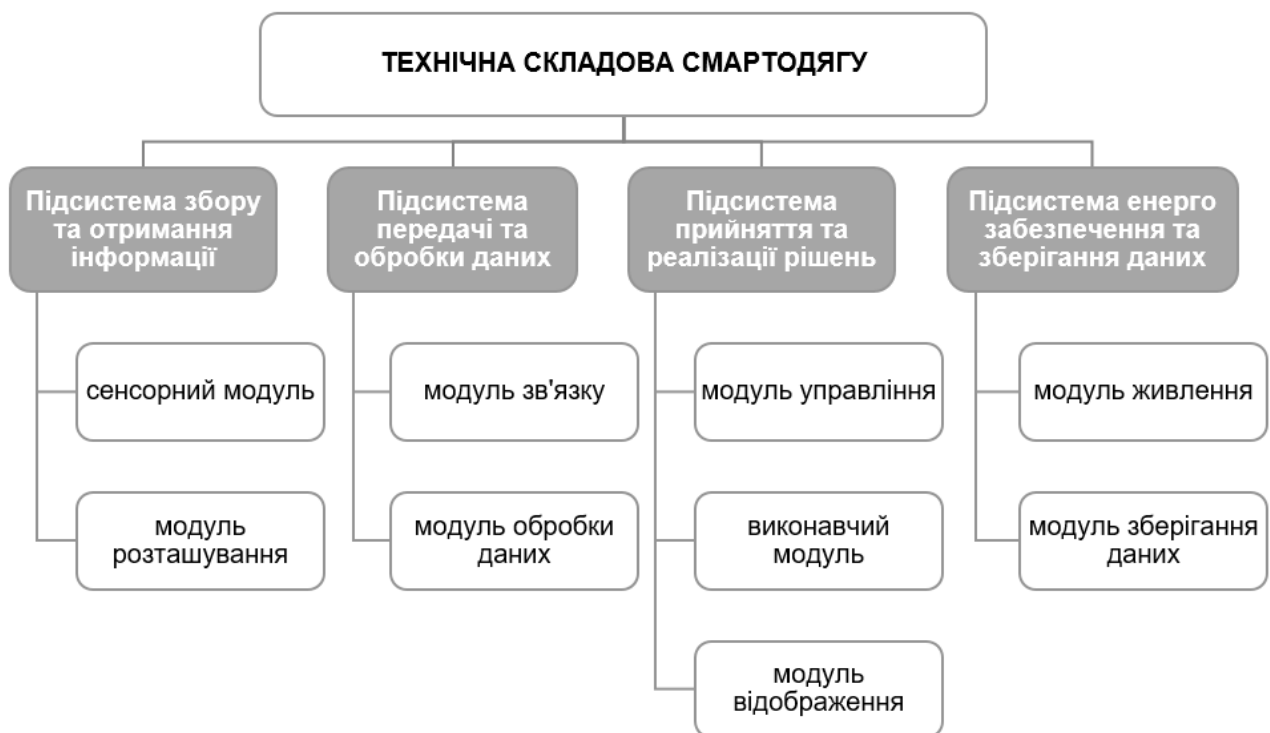


Рис. 2.3. Структурна організація технічної складової смартодягу

Фундаментальну роль у технічній складовій смартодягу відіграє *підсистема збору та отримання інформації*, оскільки саме вона відповідає за отримання первинних даних про користувача та навколишнє середовище. Дані, зібрані цією підсистемою, передаються для подальшої обробки та аналізу. Завдяки точному вимірюванню й оперативному збору інформації смартодяг

може адаптуватися до змін у стані користувача та навколишнього середовища. До даної підсистеми входять: *сенсорний модуль та модуль розташування*.

Сенсорний модуль (модуль датчиків) є одним із ключових у смартодязі та забезпечує перетворення неелектричних сигналів у електричні, придатні для подальшої обробки. Датчики дозволяють відстежувати рухи, жести та положення користувача або об'єктів, що його оточують, здійснювати моніторинг фізіологічних параметрів організму, таких як частота серцевих скорочень, температура тіла, рівень потовиділення тощо, а також фіксувати показники навколишнього середовища, зокрема температуру, тиск, вологість та ін. [129, 190, 203].

Модуль розташування в смартодязі відповідає за визначення місцезнаходження користувача за допомогою технологій GNSS, GPS та ін. Цей модуль виділяється окремо від сенсорного через специфічність своїх функцій та використовуваних технологій, які відрізняються від датчиків, що вимірюють фізіологічні параметри або умови навколишнього середовища. Модуль розташування використовує інші алгоритми для визначення позиції, які не завжди потребують швидкої обробки, на відміну від сенсорного модуля [129].

Розглянута підсистема збору та отримання інформації дає можливість класифікувати смартодяг за типом застосовуваних датчиків:

- з *біометричними (фізіологічними) датчиками* – забезпечують вимірювання основних фізіологічних показників організму, таких як частота серцевих скорочень, температура тіла та дихання;
- з *біохімічними датчиками* – здійснюють аналіз хімічних параметрів організму (наприклад, рівня глюкози, лактату чи рН) через біологічні рідини;
- з *кінематичними (руховими) датчиками* – фіксують рухи, положення та просторову орієнтацію тіла користувача;

- з датчиками параметрів навколишнього середовища – реєструють зовнішні умови, зокрема температуру, вологість, тиск або рівень освітлення;
- з навігаційними датчиками – визначають місцезнаходження користувача та відстежують його переміщення у просторі;
- з комбінованими датчиками – поєднують декілька типів датчиків, забезпечуючи комплексний збір і аналіз різнорідних даних.

Важливе значення має класифікація смартодягу за типом гнучкості датчиків та способом їх кріплення, що впливає на естетичні характеристики виробу та зручність його використання. Відповідно до цього смартодяг за типом гнучкості датчиків можна поділити на:

- *жорсткі* – датчики кріпляться на поверхні виробу або розміщуються в конструктивних частинах виробу (кишенях, поясі, манжетах, капюшоні тощо), можуть від'єднуватися для прання, ремонту або оновлення;
- *гнучкі* – датчики інтегруються у структуру текстильного матеріалу, є непомітними зовні, проте менш придатні до ремонту.

За ефективний обмін інформацією між різними компонентами смартодягу та зовнішніми пристроями відповідає *підсистема передачі та обробки даних*. Крім того, ця підсистема виконує аналітичну обробку отриманих даних, відфільтровуючи зайві сигнали, здійснюючи попередній аналіз та підготовку інформації для прийняття подальших рішень. Дана підсистема включає: *модулі зв'язку та обробки даних*.

Модуль зв'язку здійснює передачу даних, отриманих від датчиків, на зовнішні пристрої або сервери. Зазвичай використовуються сучасні бездротові технології, такі як Bluetooth, WiFi, NFC та ін., що дозволяють зменшити кількість проводів та забезпечити безперебійну передачу інформації [129, 203].

Модуль обробки даних відповідає за аналіз та інтерпретацію інформації, зібраної датчиками, перетворюючи первинні дані на корисні відомості для прийняття рішень або надання зворотного зв'язку користувачу. Обробка

здійснюється через мікроконтролери або вбудовані процесори, які можуть виконувати фільтрацію, очищення та аналіз даних в реальному часі. Для цього часто використовуються спеціальні алгоритми, здатні обробляти потокові дані з датчиків, а також зберігати їх для подальшого аналізу [190].

У процесі дизайн-проектування смартодягу доцільно враховувати спосіб передачі даних у таких виробках, оскільки наявність або відсутність дротових з'єднань впливає на конструкцію виробу, його гнучкість, комфорт використання і зовнішній вигляд. З огляду на зазначене, за способом передачі даних смартодяг можна класифікувати на:

- *без передачі даних* – обробка інформації здійснюється локально без передачі на зовнішні пристрої;
- *з дротовою передачею даних* – обмін інформацією реалізується через фізичні з'єднання (кабелі, провідні текстильні елементи);
- *з бездротовою передачею даних* – передача інформації здійснюється за допомогою сучасних бездротових технологій, таких як Bluetooth, Wi-Fi, NFC тощо.

Ще одним важливим чинником у розробці смартодягу є спосіб кріплення модулів обробки даних, оскільки впливає на його конструкцію, зручність експлуатації й естетичні характеристики. Відповідно до цього смартодяг за способом кріплення модулів обробки даних можна поділити на:

- *зі знімними (зовнішньо закріпленими) модулями* – мікроконтролери або процесорні блоки кріпляться до виробу за допомогою роз'ємних конекторів, док-станцій, кнопок або кліпс або розміщуються в кишень чи інших частинах виробу, за потреби обслуговування можуть від'єднуватися;
- *з модулями інтегрованими у конструкцію виробу (незнімні)* – модулі обробки даних розміщуються всередині шарів виробу (між шарами пакету матеріалів, у спеціальних відсіках або герметизованих капсулах) і не передбачають їх зняття.

Підсистема прийняття та реалізації рішень в смартодязі на основі оброблених даних з інших підсистем аналізує інформацію і ухвалює рішення щодо подальших дій. Завдяки цьому виріб отримує можливість реєструвати зміни та активно реагувати на них. До даної підсистеми входить: *модулі управління, виконавчий та модуль відображення*.

Модуль управління смартодягом здійснює прийняття рішень на основі отриманих даних від інших підсистем. Аналізуючи вхідні сигнали, цей модуль визначає відповідні реакції та керує виконавчими пристроями. Для забезпечення цих функцій використовуються різні компоненти, зокрема центральні процесори, мікроконтролери, програмовані вентильні масиви, інтегральні схеми для конкретних додатків та системи на кристалах [129, 190, 203].

Виконавчий модуль відповідає за виконання команд, сформованих модулем управління. Даний модуль містить різноманітні типи приводів, які дозволяють одягу взаємодіяти з користувачем або навколишнім середовищем. Наприклад, візуальні індикатори, звукові та механічні приводи забезпечують відображення інформації, передачу аудіо-сигналів та перетворення електричної енергії в рух чи вібрацію, резистивні нагрівачі генерують тепло, а термоелектричні матеріали сприяють охолодженню. Ці приводи реагують на імпульси від датчиків, після обробки яких відбувається активація відповідних механізмів [129, 190].

Модуль відображення є частиною реалізації рішень, сформованих модулем управління та забезпечує візуальний зворотний зв'язок із користувачем. Через нього реалізується інформування про стан системи, результати вимірювань та виконання заданих дій. Засоби відображення можуть бути як зовнішніми (мобільні пристрої), так і інтегрованими у виріб (дисплеї, LED-індикатори), однак використання останніх може збільшувати енергоспоживання виробу [129].

Відповідно до проаналізованої інформації щодо підсистеми прийняття та реалізації рішень встановлено, що під час розробки смартодягу важливим є врахування способів керування та відображення інформації, оскільки вони

впливають на формування конструктивних, функціональних і естетичних рішень виробу. За способом керування смартодяг можна класифікувати на:

- *без керування* – функціонує без можливості впливу з боку користувача, реалізуючи заздалегідь визначені або вбудовані функції без змін під час експлуатації;
- *з ручним керуванням* – користувач самостійно активує або регулює функції виробу за допомогою фізичних елементів (кнопки, перемикачі) або сенсорних інтерфейсів;
- *з автоматичним керуванням* – система самостійно приймає рішення на основі даних із датчиків без прямого втручання користувача;
- *з комбінованим типом керування* – поєднує автоматичні режими роботи з можливістю ручного коригування.

За способом відображення інформації смартодяг можна поділити на:

- *без візуального відображення* – функціонування смартодягу не передбачає виведення інформації користувачеві, а реалізується через автоматичні дії або інші типи сигналів (тактильні, теплові тощо);
- *з опосередкованим відображенням* – інформація передається на зовнішні пристрої (смартфони, планшети тощо), де відбувається її візуалізація для користувача.
- *з інтегрованим відображенням* – смартодяг містить вбудовані засоби візуалізації (LED-індикатори, дисплеї, оптичні елементи), що забезпечують відображення інформації на виробі.

Підсистема енергозабезпечення та зберігання даних забезпечує стабільну роботу смартодягу, постачаючи енергію для всіх його компонентів і зберігаючи важливу інформацію. Ця підсистема включає: *модулі живлення та зберігання даних*.

Модуль живлення здійснює енергопостачання всіх підсистем смартодягу. Основними джерелами живлення є акумуляторні батареї, суперконденсатори та енергозбираючі технології, такі як гнучкі сонячні панелі, термоелектричні

генератори, що використовують різницю температур між тілом і навколишнім середовищем та п'єзоелектричні матеріали, здатні виробляти енергію від рухів користувача. Підсистема живлення включає механізми оптимізації енергоспоживання, які дозволяють продовжити автономну роботу пристрою та ефективно розподіляти енергію між компонентами [129].

Модуль зберігання даних забезпечує тимчасове або постійне зберігання даних, що дозволяє системі працювати автономно або з мінімальною залежністю від зовнішніх пристроїв. Вибір технології зберігання керується вимогами до обсягу даних, швидкості доступу, енергоспоживання та фізичних обмежень, пов'язаних із дизайном одягу. Це може бути внутрішня пам'ять або віддалене хмарне сховище. Ефективна робота підсистеми зберігання даних є важливою для забезпечення безперервного моніторингу та аналізу параметрів користувача, що є ключовим для функціонування смартодягу [129, 190].

Для дизайн-проектування важливим аспектом є спосіб живлення та технології зберігання даних смартодягу, оскільки впливає на конструктивні особливості виробу, його масу та умови функціонування.

Відповідно до цього смартодяг за способом живлення можна поділити на:

- з автономним живленням – енергопостачання здійснюється від вбудованих джерел (акумуляторів, батарей), які потребують періодичної підзарядки.
- з енергогенеруючим живленням – забезпечується за рахунок перетворення енергії навколишнього середовища або рухів користувача (сонячні панелі, термо- та п'єзоелементи).
- з комбінованим живленням – поєднує використання акумуляторів і енергогенеруючих технологій.

За технологіями зберігання даних смартодяг можна класифікувати:

- з вбудованою (локальною) пам'яттю – реалізується за допомогою мікроконтролерів або окремих модулів пам'яті (Flash, EEPROM, RAM);

- *із зовнішніми носіями даних* – використовуються змінні або додаткові модулі (SD-карти, microSD), що розширюють обсяг зберігання та забезпечують можливість перенесення даних;
- *з хмарними технологіями зберігання* – дані передаються через бездротові канали (Bluetooth, Wi-Fi) до віддалених серверів або хмарних платформ, де здійснюється їх зберігання, обробка та аналіз.

На основі наведеної вище інформації було сформовано узагальнену характеристику щодо технічної складової смартодягу та представлено в Додатку Е, табл. Е.2, що включає підсистеми, модулі, опис їх функцій та приклади носіїв модулів. Також розроблено типологію смартодягу, що надана в Додатку Д, рис. Д.8.

Матеріальна складова смартодягу формує основу для розміщення цифрових та електронних компонентів (рис. 2.4). До її основних елементів належать *традиційний текстиль, функціональний текстиль, смарттекстиль та електронний текстиль*, що можуть бути покладені в основу класифікації смартодягу за типом текстильних матеріалів [203].

Традиційний текстиль у складі смартодягу слугує базовим носієм для інтеграції інноваційних технологічних рішень. Як правило, для цього використовуються матеріали різного волокнистого складу [142]:

- з натуральним (бавовна, льон тощо) та штучним складом (віскоза, ацетат та ін.) завдяки гігроскопічності, повітропроникності, м'якості та високому рівню комфортності застосовуються переважно для зовнішніх шарів або підкладок, де важливий контакт зі шкірою;
- з синтетичним (поліестер, нейлон, еластан, поліамід тощо) та змішаним складом, що характеризуються підвищеною міцністю, зносостійкістю, стійкістю до впливу вологи та деформацій, використовуються для шарів смартодягу, які потребують довговічності та стабільності форми, зокрема в зонах інтеграції електронних і цифрових компонентів.

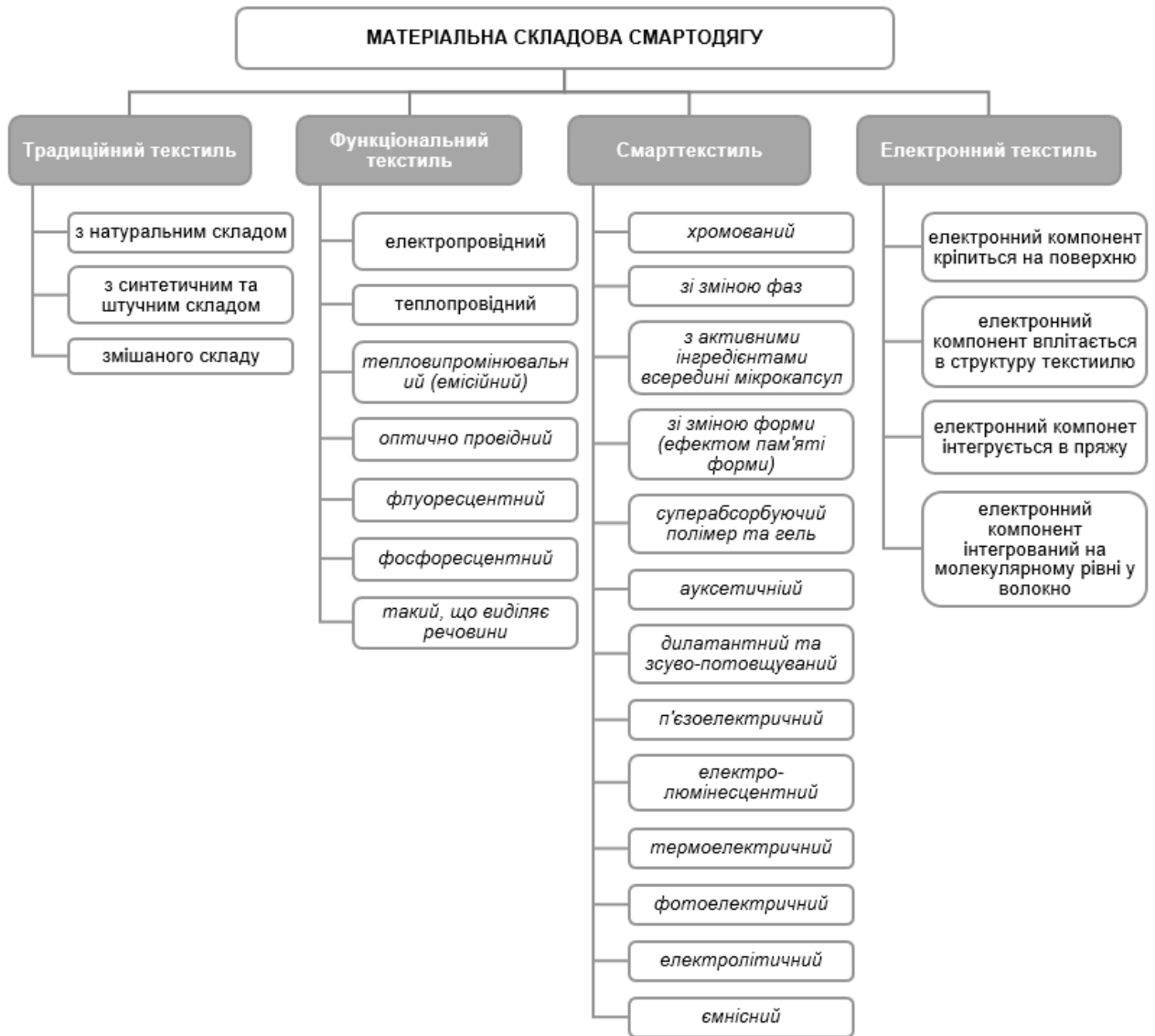


Рис. 2.4. Матеріальна складова смартодягу

Наступною важливою матеріальною основою смартодягу є *смарттекстиль*, що має одну або декілька властивостей, які змінюються відповідно до конструкції у відповідь на стимули, такі як механічні, термічні, хімічні, електричні, магнітні чи інші джерела [75].

Більшість науковців [180, 208, 262, 294] класифікують смарттекстиль за рівнем розвитку та функціями, які він виконує, такими як *відчувати навколишнє середовище (сенсорна функція)*, *впливати на нього (виконавча функція)* і *відповідно адаптувати свою поведінку (адаптивна функція)* (Додаток Д, рис. Д.5).

Функціональний текстиль – це текстиль, якому додається певна функція за допомогою матеріалу, складу, конструкції та/або обробки (внесення добавок тощо) [175]. Ще іноді його визначають як пасивний смарттекстиль, найперше покоління, що може лише сприймати зміни та подразники навколишнього середовища [294]. У смартодягу він зазвичай використовується як додатковий матеріал для підсилення основних функцій виробу, забезпечуючи підвищену терморегуляцію, електропровідність, світлопровідність, захист або інші спеціальні властивості. Виявлено, що до функціонального текстилю належать [175]:

- електропровідний текстиль, що може проводити електричний струм завдяки включенню провідних компонентів (металевих волокон, покриттів, провідних полімерів чи наноматеріалів) у свою структуру;
- теплопровідний текстиль, який характеризується підвищеною здатністю передавати теплову енергію внаслідок теплопровідності, тобто перенесення тепла від ділянки з вищою температурою до ділянки з нижчою під дією температурного градієнта;
- тепловипромінювальний текстиль, здатний випромінювати або відображати теплову енергію у вигляді інфрачервоного випромінювання для підтримки теплового балансу або обігріву тіла;
- оптично провідний текстиль, який містить вбудовані волокна або матеріали, які здатні проводити світло вздовж тканини, як оптичні кабелі;
- флуоресцентний текстиль, що включає флуоресцентні барвники чи пігменти, здатні поглинати електромагнітне випромінювання (зокрема ультрафіолетове) та майже миттєво випромінювати світло з більшою довжиною хвилі у видимому спектрі;
- фосфоресцентний текстиль, що містить фосфоресцентні барвники або пігменти, які здатні поглинати світло та поступово випромінювати його у темряві протягом тривалого часу після опромінення;

- текстильний матеріал, який вивільняє речовини, здатні контролювано виділяти біологічно активні чи функціональні речовини на молекулярному рівні без реагування на зміни навколишнього середовища (антибактеріальні тканини з іонами срібла або міді, дезодоруючі тканини, ароматизовані матеріали та тканини з репелентними просоченнями).

Активний смарттекстиль представляє *друге покоління* та здатний сприймати зміни або подразники з навколишнього середовища, а потім відповідним чином реагувати. Прикладами активного смарттекстилю є [175]:

- хромований текстиль, який містить барвники або пігменти, що здатні змінювати колір або зовнішній вигляд під впливом зовнішніх стимулів, таких як тепло, світло, тиск, рН, хімічні речовини або електричне поле; у смартодязі можуть слугувати для візуальної індикації змін стану навколишнього середовища, створення адаптивного дизайну, інтерактивних ефектів та інформаційних сигналів;
- текстильні матеріали зі зміною фаз, які здатні накопичувати, поглинати або виділяти тепло завдяки переходу між твердою та рідкою формою: вони віддають тепло при переході в твердий стан і поглинають його, повертаючись у рідкий стан; у смартодязі застосовується для терморегуляції, підтримки комфортної температури тіла користувача;
- текстиль із мікрокапсулами з активними інгредієнтами, що містять біологічно активні або функціональні речовини в серцевині (ядрі) та під дією зовнішніх подразників (механічної дії, тертя, тепла, вологості тощо) оболонка капсул руйнується або стає проникною, що призводить до контрольованого вивільнення активних інгредієнтів на поверхню матеріалу чи шкіри; у смартодязі призначений для косметичного догляду, ароматизації, антимікробної дії або лікувального впливу на шкіру;
- текстиль із ефектом пам'яті форми, який здатний зберігати задану форму після деформації та повертатися до запрограмованої початкової форми під впливом зовнішнього стимулу (зазвичай зміни температури, але також

- механічної дії, світла, магнітного поля чи інших факторів); у смартодязі можу слугувати для адаптивних конструкцій, автоматичного підлаштування форми виробу або підтримки анатомічної форми;
- аускетичний текстиль, що при розтягуванні не звужується, як звичайні матеріали, а розширюється поперек напрямку навантаження, а при стисканні – звужується; у смартодязі застосовується для покращення вентиляції, підвищення міцності, ударопоглинання та створення адаптивної структури виробу;
 - п'єзоелектричний текстиль, який здатний генерувати електричний заряд при механічній деформації (натиску, згині, розтягненні) і, навпаки, деформуватися під впливом зовнішнього електричного поля; у смартодязі використовується для живлення датчиків;
 - електролюмінесцентний текстиль, що випромінює світло при подачі електричного струму або електричного поля, завдяки вбудованому електролюмінесцентному шару; у смартодязі може слугувати для підсвітки, декоративних ефектів, сигналізації або інтерактивних елементів;
 - термоелектричний текстиль, який перетворює різницю температур у електричну енергію або навпаки – використовує електричний струм для створення охолодження чи нагріву; у смартодязі застосовується для автономного живлення датчиків, активної терморегуляції та обігріву/охолодження тіла;
 - фотоелектролітичний текстиль, що може під впливом світла викликати електрохімічні процеси, які супроводжуються розділенням зарядів, протіканням хімічних реакцій або утворенням електричного струму; у смартодязі використовується для генерації енергії від світла, інтегрованих сенсорів або освітлювальних систем;
 - ємнісний текстиль, що здатний реагувати на зміни електричного поля або поведінки електричного заряду при дотику, наближенні чи зміні відстані

між частинами матеріалу; у смартодязі застосовується як датчики дотику, для контролю рухів, інтерактивних елементів та інтерфейсів керування.

Інтелектуальний смарттекстиль – це третє покоління, яке може не лише відчувати й реагувати, а й адаптуватися до змін зовнішніх умов. Такі системи функціонують за принципом «мозку», оскільки мають елементи пізнання, аналізу та прийняття рішень [175]. Прикладами є інтеграція в текстиль електроніки, що включає датчики, оптичні гаджети, наногенератори та пристрої накопичення енергії. Електронні компоненти можуть забезпечувати чутливість до забруднювачів, виявлення ознак хвороб або потенційних загроз, а оптичні елементи, розміщені на поверхні смарттекстилю функціонують завдяки живленню від наногенераторів та акумулюючих пристроїв [262].

До цього типу смарттекстилю відноситься електронний текстиль, який поділяється за ступенем інтеграції на 4 покоління (Додаток Д, рис. Д.6) [95]:

- *перше покоління* має найнижчий ступінь інтеграції, де «розумний» функціонуючий компонент/матеріал/речовина наноситься або прикріплюється до поверхні текстилю. Це покоління е-текстилю зазвичай більш жорстке та громіздке, з обмеженою зносостійкістю. Прикладами є використання електронних компонентів, друк схем струмопровідним чорнилом на тканинах, або вишивка струмопровідних ниток для створення електричних ланцюгів;
- *друге покоління* передбачає в'язання або вплетення функціонуючого компоненту/матеріалу/речовини в структуру текстилю. Текстиль цього покоління зазвичай м'який, гнучкий, але обмежений з точки зору комфорту та адаптивності. Прикладами є датчики з тканини, виготовлені шляхом в'язання або переплетення струмопровідних ниток, і світлодіоди, вплетені електропровідними нитками в текстильний візерунок;
- *третє покоління* характеризується найвищим ступенем інтеграції, де функціонуючий компонент/матеріал/речовина інтегрується безпосередньо в пряжу або волокно. Текстиль цього покоління більш придатний для

виробництва міцних, зручних і надійних електронних систем з кращою функціональністю, здатний існувати більш дискретно в дизайні, не впливаючи на естетичні якості одягу та рівень комфорту користувача. Більшість прикладів цього покоління стали можливими завдяки нанотехнологіям, таким як вбудовування напівпровідникових систем у волокна для збору та зберігання енергії;

- *четверте покоління* – це найсучасніша технологія, яка є концептуальним проривом у розвитку смарттканин, що нині існує переважно на стадії лабораторних розробок та прототипів. На відміну від попередніх поколінь, передбачає повну інтеграцію електронних функцій безпосередньо у волокна текстилю, що забезпечує м'якість, комфорт, гнучкість, довговічність і придатність до прання без втрати функціональності. Прикладом є світловипромінюючі волокна, які можуть працювати без зовнішнього джерела живлення, або інтерактивні тканини з вбудованими дисплеями, клавіатурами та елементами живлення. Такі текстильні системи можуть відображати дані, зчитані з мозкової активності, прямо на одязі, перетворюючи його на інтелектуальний інтерфейс. Безшовна інтеграція таких функцій відкриває нові горизонти для моди, роздрібною торгівлі, безпеки та охорони здоров'я. Технології четвертого покоління активно орієнтовані на підключення до IoT, хмарних платформ, штучного інтелекту та людино-машинних інтерфейсів.

Підсумовуючи, встановлено, що смартодяг має складну структуру, у якій поєднуються технологічна складова, що відповідає за виконання інтелектуальних функцій та матеріальна складова, яка створює фізичне середовище для стабільної та безпечної роботи виробу. У технічній складовій смартодягу виокремлено чотири взаємопов'язані підсистеми з відповідними модулями, що виконують критично важливі функції, такі як збір та отримання інформації (сенсорний модуль та модуль розташування), передачу та обробку даних (модулі зв'язку та обробки даних), прийняття та реалізацію рішень (модулі управління, виконавчий та модуль відображення), а також енергозабезпечення та

зберігання даних (модулі живлення та зберігання даних). Розглянуто матеріальну складову смартодягу, що є основою для розміщення технічних компонентів, що передбачає використання традиційного текстилю як базового зовнішнього або підкладкового шару виробу, а також функціонального текстилю, який підсилює його основні властивості. З'ясовано, що для надання виробу смартфункцій найчастіше застосовують активний смарттекстиль, здатний сприймати зміни зовнішнього середовища та відповідно реагувати на них, а також інтелектуальний смарттекстиль, який не лише реагує, а й адаптується до змін умов навколишнього середовища завдяки інтеграції електроніки в текстильну структуру, зокрема у вигляді електронного текстилю з різним ступенем вбудованих функціональних компонентів. Відповідно до технічної та матеріальної складових, сформовано типології смартодягу за: типом застосовуваних датчиків (біометричні, біохімічні, кінематичні, параметрів навколишнього середовища, навігаційні, комбіновані), типом гнучкості датчиків (жорсткі, гнучкі), способами передачі даних (без передачі, дротові, бездротові), способами кріплення модулів обробки даних (знімні, інтегровані у конструкцію виробу), способами керування (без керування, ручні, автоматичні, комбіновані), способами відображення інформації (без візуального відображення, опосередковані, інтегровані), способами живлення (автономні, енергогенеруючі, комбіновані) та за технологіями зберігання даних (вбудовані, зовнішні, хмарні), а також за типом текстильних матеріалів (традиційні, функціональні, смарт- та електронний текстиль).

2.5 Ключові аспекти та етапи дизайн-проектування смартодягу

Складна організація смартодягу суттєво трансформує традиційні підходи до дизайн-проектування та вимагає від дизайнерів не тільки творчого підходу, а також глибокого розуміння технічних аспектів. У такому підході важливо поєднувати функціональність і естетику, забезпечувати ергономічний комфорт користувача та одночасно враховувати технологічні обмеження.

Відповідно до існуючої концепції 3F+1I [102] та сучасних підходів до проектування традиційного одягу [48], нами здійснено систематизацію та запропоновано ключові аспекти, які необхідно враховувати під час дизайн-проектування смартодягу (рис. 2.5).

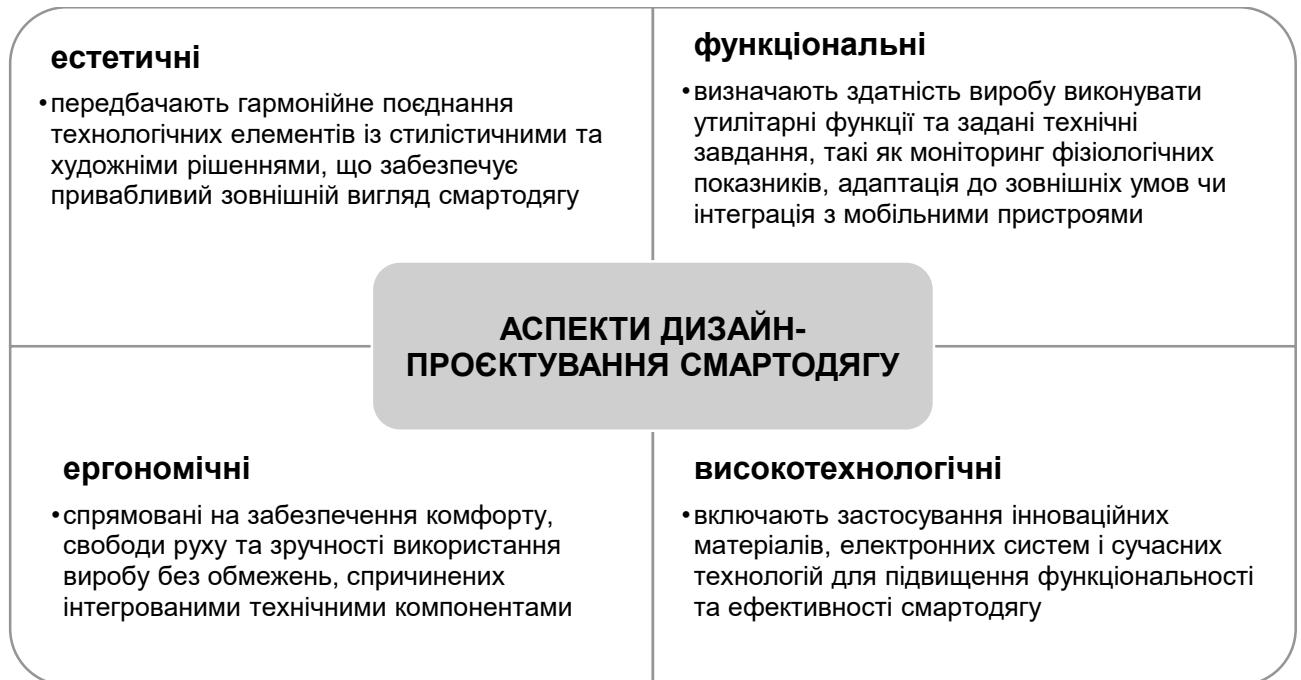


Рис. 2.5. Ключові аспекти дизайн-проектування смартодягу

Естетичні аспекти відіграють важливу роль у сприйнятті виробу користувачем та формуються через гармонійність композиційних і кольорових рішень моделі, узгодженості форм та пропорцій її складових [14]. У смартодязі важливо, щоб інтегровані технічні компоненти не порушували цілісність художнього образу, а органічно доповнювали його.

Розташування датчиків, провідних елементів, модулів живлення та інших складових повинно відповідати логіці формоутворення та конструктивним лініям одягу. Вони можуть бути прихованими, щоб зберегти традиційний вигляд виробу, або навмисно акцентованими як декоративна складова, що підкреслює інноваційність і футуристичний характер моделі. Розміри та співвідношення між основними частинами виробу та технічними компонентами мають бути збалансованими, не повинні візуально обтяжувати форму, порушувати силует і створювати дисгармонію.

Кольорове рішення смартодягу також має специфічні особливості. Використання інтерактивних матеріалів (термохромних, фотохромних, електролюмінесцентних) розширює традиційне розуміння кольору як статичної характеристики. Колір стає динамічним, здатним змінюватися під впливом зовнішніх чинників або програмованих налаштувань. Це створює ефект трансформації виробу, підвищує його емоційну виразність та забезпечує індивідуалізацію.

Функціональні аспекти смартодягу визначаються його здатністю виконувати традиційні утилітарні функції, що забезпечують комфортні умови використання, а також задані технічні завдання, такі як моніторинг показників, адаптація до середовища, інтеграція з мобільними пристроями, автоматичне налаштування параметрів тощо [211].

Для виконання функцій смартодягом важливо забезпечити стабільність роботи його технічної складової. Це передбачає врахування захисту від коротких замикань, які можуть виникати під впливом вологи, потовиділення, конденсату або внаслідок пошкодження ізоляційних шарів, а також захисту від перегріву, спричиненого тривалою безперервною роботою електронних компонентів, підвищеним енергоспоживанням, недостатнім тепловідведенням чи несправностями системи живлення, зокрема перенапругою або деградацією акумулятора. Окрім цього, важливим є врахування ризиків механічних пошкоджень, пов'язаних із постійними деформаціями, згинанням, розтягуванням, стисканням і тертям у процесі експлуатації.

З огляду на зазначені чинники, важливу роль у забезпеченні функціональності смартодягу відіграють матеріальна основа та конструктивні рішення. Конструктивні рішення мають забезпечувати додатковий захист технічних компонентів від механічних впливів і факторів навколишнього середовища, тоді як матеріальна основа повинна гарантувати комфортне та безпечне використання виробу в різних умовах експлуатації, забезпечуючи необхідні гігієнічні, фізико-механічні та експлуатаційні властивості.

Стабільність виконуваних функцій смартодягу також визначається безперервністю збору, обробки й передачі даних без втрати сигналу, спотворення інформації або виникнення критичних затримок у роботі системи. Це передбачає надійність електричних з'єднань, стійкість датчиків до перешкод і шумів, коректну синхронізацію між модулями та достатню пропускну здатність каналів зв'язку.

Ергономічні аспекти відповідають за комфорт і зручність носіння, свободу рухів та адаптацію виробу до анатомічних особливостей тіла користувача [211].

Для розміщення технологічних компонентів слід враховувати зони максимальної рухливості (плечові, ліктьові, колінні суглоби) та інтегрувати в менш рухливі або в спеціально сконструйовані деталі, та уникати ділянок підвищеного тиску або тертя. При цьому необхідно зберігати баланс маси виробу, щоб уникнути локального перевантаження та дискомфорту під час тривалого носіння. Доцільним є використання гнучких, еластичних і легких матеріалів, що дозволяє зберігати свободу рухів.

Розташування кнопок, сенсорних зон чи мобільного підключення повинно бути інтуїтивно зрозумілим і доступним без зайвих зусиль. Інформаційний зворотний зв'язок (світловий, вібраційний або звуковий сигнал) має бути помірним і не викликати сенсорного перевантаження.

Особлива увага приділяється тактильному та мікрокліматичному комфорту. Використання повітропроникних і гігроскопічних матеріалів сприяє підтриманню оптимального мікроклімату. У разі інтеграції нагрівальних або охолоджувальних елементів важливо забезпечити рівномірний розподіл тепла та запобігти перегріванню окремих ділянок тіла. Ергономічне проектування також передбачає мінімізацію жорстких з'єднань і виступаючих деталей, що можуть спричинити подразнення шкіри.

Безпековий аспект є невід'ємною складовою ергономіки смартодягу. Проектування має враховувати електробезпеку, захист від короткого замикання, впливу вологи та механічних пошкоджень. Важливо передбачити ізоляцію струмопровідних елементів і використання низьковольтних систем живлення.

Високотехнологічні аспекти включають застосування інноваційних матеріалів, електронних систем і сучасних технологій для підвищення функціональності та ефективності смартодягу [14].

Структура смартодягу охоплює комплекс високотехнологічних рішень, зокрема використання електронного та смарттекстилю, інтеграцію датчиків, вбудовані системи збору, оброблення й передавання даних, а також застосування енергоефективних джерел живлення, що формують основу функціонування смартвиробів.

Окрім цього, варто відзначити зв'язок смартрозробок з іншими напрямками смарттехнологій, такими як штучний інтелект, машинне навчання, аналітика великих даних і хмарні обчислення. Їх використання розширює можливості аналізу інформації, персоналізації функцій та адаптації смартодягу до індивідуальних потреб користувача, що підвищує його практичну цінність і ефективність застосування.

З огляду на наявність у смартодязі значної кількості високотехнологічних складових, варто стежити, щоб вони не створювали перешкод у роботі один для одного.

Процес дизайн-проектування нових дизайнерських об'єктів є надзвичайно складним і багатoelementним [12, 20] та передбачає кілька етапів, таких як: створення концепції, формулювання цілей, проведення аналізу об'єкта, виконання проектування (моделювання, макетування тощо), розробка проектної документації [7, 41, 45, 101, 164, 182, 291]. В умовах розвитку смарттехнологій застосування виключно традиційного підходу до проектування смартодягу є недостатнім, оскільки не враховує інтеграцію електронних компонентів, цифрових систем і програмного забезпечення, що може негативно вплинути на функціональність, безпечність та надійність кінцевого продукту. У зв'язку з цим виникає необхідність уточнення та доповнення етапів дизайн-проектування з урахуванням естетичних, функціональних, ергономічних та високотехнологічних аспектів. Відповідно до проаналізованих наукових джерел, нами систематизовано теоретичні підходи та запропоновано удосконалений

процес дизайн-проектування смартодягу, що включає такі етапи (Додаток Д, рис. Д.9):

1. Визначення завдання на розробку моделі смартодягу:

- аналіз характеристик цільового споживача, що охоплює стать, вік, професійну діяльність, рівень доходу, спосіб життя, цінності, тип особистості та самоприйняття, місцепроживання; фізіологічні (тип фігури та особливості тіла) та естетичні (стиль, колір) потреби, а також очікування щодо функціональних та технологічних можливостей одягу;
- визначення застосування та функцій смартодягу, які він повинен виконувати, що безпосередньо впливає на вибір матеріалів і технології виготовлення;
- вибір виду та типу одягу для проектування з урахуванням двох попередніх пунктів.

2. Виконання передпроектних досліджень:

- проведення маркетингових досліджень, які включають аналіз споживчого попиту, конкурентного середовища, цінової політики та визначення цільових сегментів;
- вивчення тенденцій сучасної моди, інновації у сфері дизайну, кольорової гами, силуетів, а також функціонального наповнення смартодягу;
- проведення аналізу новітніх технологій, що можуть бути інтегровані у виріб: датчики, мікроконтролери, гнучка електроніка, автономні джерела живлення, текстильні дисплеї тощо;
- дослідження нових матеріалів та фурнітури, які сумісні з електронними компонентами, включаючи провідні нитки, електропровідні текстилі, тканини з терморегуляцією, мембрани тощо;
- встановлення вимог до виробу: естетичні, функціональні, ергономічні, технологічні та експлуатаційні, що відповідають обраній цільовій аудиторії та призначенню.

3. Розробка ескізу та первинного креслення (схеми) роботи моделі:

- створення ескізу зовнішнього вигляду з урахуванням стилю, силуету, характеру ліній, форми, довжини, об'ємності, особливостей покрою, кольорового рішення та матеріалів;
- розробка креслення (схеми), що відображає структуру роботи інтегрованих пристроїв, а саме розміщення електронних компонентів (датчиків, мікропроцесорів, акумулятора, гнучких плат, проводки та ін.), способи їх інтеграції в текстиль, взаємозв'язок між елементами, метод керування функціями та варіанти підключення до зовнішніх пристроїв;
- узгодження між зовнішнім дизайном та технічним кресленням (схемою), що дозволяє забезпечити гармонію між естетикою й функціональністю.

4. Розробки першого макета:

- розробка первинних лекал та виготовлення макету зовнішнього вигляду виробу, який демонструє форму, силует, пропорції, членування, декоративні елементи та матеріали, що плануються для використання;
- на основі макету проводиться уточнення технічних параметрів: визначається оптимальне розташування смартелементів, датчиків, мікросхем, акумуляторів, інтерфейсів керування тощо. Також встановлюється довжина та прокладка з'єднувальних елементів (проводів, гнучких плат, контактних зон), з урахуванням зручності експлуатації, безпеки та гнучкості під час носіння.
- вносення уточнення та змін до зовнішнього вигляду та креслення (схеми) роботи інтегрованих пристроїв у модель.

5. Розробка другого макету:

- створення оновленого зразка, який враховує всі внесені уточнення щодо форми, ліній, об'ємів, матеріалів, розміщення декоративних елементів, а також технічних характеристик: положення, розміри, форма смартелементів, довжина з'єднань, способи їх фіксації та прокладення;
- проведення перевірки роботи пристрою в динаміці, включаючи взаємодію з тілом, реакцію на рухи, точність показників та стабільність з'єднань;

- виявлення проблем, після яких здійснюється модифікація та доопрацювання зразка.

6. Виготовлення остаточних лекал та схем роботи інтегрованих пристроїв:

- після уточнень і доопрацювань, що були внесені за результатами попередніх макетів, створення точних лекала всіх деталей виробу;
- формування кінцевого креслення (схеми) інтеграції смартелементів, у якій детально зазначається місце розташування сенсорів, акумуляторів, провідників, інтерфейсів взаємодії, способів кріплення та методів з'єднання.

7. Затвердження та виготовлення остаточного зразка:

- перевірка злагодженої роботи усіх модулів смартодягу, а також оцінка зовнішнього вигляду, зручності у носінні, безпеки та ергономічності;
- якщо виявляються дрібні недоліки, вони враховуються у фінальній версії технічної документації;
- у разі успішного тестування зразка, проводиться офіційне затвердження – тобто отримує схвалення на подальше серійне виробництво.

8. Розробка проєктно-конструкторської документації:

- технічний рисунок та опис виробу;
- схеми та креслення роботи інтегрованих смартелементів;
- конфекційну карту матеріалів;
- технологічну послідовність виготовлення виробу, а також інструкцію монтажу смартелентів;
- перелік обладнання та приладів до виготовлення;
- остаточні лекала;
- вимоги щодо перевірки якості виготовлення виробу.

9. Впровадження моделі у виробництво. На цьому етапі здійснюється підготовка до масового виготовлення, включаючи налаштування технологічних процесів, організацію постачання матеріалів і компонентів, а також навчання

персоналу для роботи з новими технологіями та специфічними вимогами смартодягу. Всі етапи виробництва, від виготовлення текстильних елементів до інтеграції смартелементів, контролюються на відповідність вимогам безпеки та якості. Паралельно проводяться тестування готових виробів для перевірки їхньої працездатності, функціональності та довговічності. Якщо на цьому етапі виявляються дефекти або неточності, вони коригуються, що дозволяє забезпечити високу якість серійного випуску. Цей процес завершується запуском смартодягу у серійне виробництво та його готовністю до виходу на ринок.

Отже, у результаті проведеного аналізу виділено чотири ключові аспекти, дизайн-проектування смартодягу: естетичні, функціональні, ергономічні, високотехнологічні, врахування яких забезпечує створення привабливого, надійного, зручного та інноваційного виробу. Встановлено, що традиційний процес дизайн-проектування одягу не забезпечує врахування технічної складової смартодягу, що зумовило необхідність його удосконалення. Визначено структуровано-логічну послідовність етапів дизайн-проектування смартодягу, а саме: визначення завдання на проектування, що доповнене врахуванням технологічних і функціональних можливостей виробу; виконання передпроектних досліджень з важливістю аналізу новітніх технологій та оцінкою сумісності матеріалів із технічними складовими; розробку ескізу та первинної схеми роботи моделі, що передбачає опрацювання схеми функціонування технічної системи; створення першого та другого макетів із внесенням коригувань; виготовлення остаточних лекал і схем інтегрованих пристроїв; затвердження та виготовлення остаточного зразка; розробку проектно-конструкторської документації та впровадження моделі у виробництво. Запропонований підхід становить науково обґрунтовану основу для ефективного впровадження смарттехнологій у процес дизайн-проектування смартодягу, що забезпечує системність розробки та узгодженість усіх складових виробу.

Висновки до розділу 2

1. Визначено, що до основних напрямів розвитку смарттехнологій належать *Інтернет речей, штучний інтелект, машинне навчання, аналітика великих даних, хмарні обчислення та робототехніка*. Ці напрями тісно взаємодіють між собою, де IoT забезпечує збір даних, аналітика великих даних структурує отриману інформацію, хмарні обчислення зберігають дані та підтримують їх обробку, штучний інтелект і машинне навчання виявляють закономірності та формують обґрунтовані рішення, а робототехніка реалізує їх у фізичному світі. Встановлено, що в контексті нашого дослідження смарттехнології слід розглядати через носимі пристрої, що є підкатегорією Інтернету речей. Відповідно до систематизованої інформації щодо *класифікації носимих пристроїв за рівнем інтеграції в тіло користувача*, виділено текстильні носимі пристрої, до яких належить *смартодяг*, дослідження якого є важливим в контексті дизайну одягу.

2. Проаналізовано процес становлення та розвитку смарттехнологій в дизайні одягу. Визначено, що ключовим чинником розвитку смарттехнологій в дизайні одягу стала третя промислова революція, яка сприяла інтеграції цифрових рішень та електронних компонентів у текстильні матеріали й вироби. Виділено три основні етапи розвитку смарттехнологій у дизайні одягу: початковий етап охоплює період з 1960 до 1999 року та характеризується появою перших винаходів і експериментальних досліджень; другий етап припадає на 2000-2009 роки й відзначається переходом до практичної реалізації та комерціалізації розробок, що супроводжується ускладненням конструкцій, зменшенням габаритів електронних компонентів, підвищенням їх енергоефективності та рівня інтеграції; третій етап, що охоплює 2010-2020 роки та пов'язаний із концепцією Індустрії 4.0, характеризується впровадженням Інтернету речей, штучного інтелекту, робототехніки та хмарних сервісів, що трансформує смартодяг у багатофункціональну адаптивну систему.

3. Проаналізовано різновиди смартодягу, поділено їх за сферою використання та функціями, які вони виконують: *для спорту та фітнесу, охорони здоров'я, військової й оборонної сфер, забезпечення безпеки, розважальної та модної індустрії, освітньої діяльності, а також для повсякденного використання.* Встановлено, що найбільш поширеними є розробки у сферах спорту та фітнесу, а також охорони здоров'я, де смартодяг переважно використовується для відстеження фізіологічних параметрів тіла людини. У військовій та в сфері безпеки переважають інноваційні розробки високого технологічного рівня, які спрямовані на підвищення захисту, витривалості та ефективності користувача; згодом частина таких технологій адаптується для повсякденного застосування. У сфері освіти кількість реалізованих проєктів залишається обмеженою: попри наявний інтерес і потенціал використання, напрям перебуває на етапі активного формування та експериментального впровадження. Натомість у сфері розваг простежується розвиток комерційно орієнтованих рішень, зокрема для ігрової індустрії, інтерактивних перформансів і сценічних виступів артистів.

4. Встановлено, що смартодяг має складну структуру, у якій поєднуються *технологічна та матеріальна складові.* У технічній складовій смартодягу виокремлено чотири взаємопов'язані підсистеми з відповідними модулями, що виконують критично важливі функції, такі як *збір та отримання інформації* (сенсорний модуль та модуль розташування), *передачу та обробку даних* (модулі зв'язку та обробки даних), *прийняття та реалізацію рішень* (модулі управління, виконавчий та модуль відображення), а також *енергозабезпечення та зберігання даних* (модулі живлення та зберігання даних). Розглянуто матеріальну складову смартодягу, що передбачає використання *традиційного, функціонального смарт- та електронного текстилю.* Надано класифікації смарттекстилю за рівнем розвитку та функціями, а також електронного текстилю за ступенем інтеграції. Відповідно до технічної та матеріальної складових, сформовано типології смартодягу за: *типом застосовуваних датчиків* (біометричні, біохімічні, кінематичні, параметрів навколишнього середовища, навігаційні,

комбіновані), *типом гнучкості датчиків* (жорсткі, гнучкі), *способами передачі даних* (без передачі, дротові, бездротові), *способами кріплення модулів обробки даних* (знімні, інтегровані у конструкцію виробу), *способами керування* (без керування, ручні, автоматичні, комбіновані), *способами відображення інформації* (без візуального відображення, опосередковані, інтегровані), *способами живлення* (автономні, енергогенеруючі, комбіновані) та *за технологіями зберігання даних* (вбудовані, зовнішні, хмарні), а також за *типом текстильних матеріалів* (традиційні, функціональні, смарт- та електронний текстиль).

4. Виділено чотири ключові аспекти дизайн-проектування смартодягу: *естетичні*, що формуються через гармонійність композиційних і колористичних рішень, узгодженість форм і пропорцій складових моделі; *функціональні*, які визначають здатність виробу виконувати традиційні утилітарні функції та задані технічні завдання; *ергономічні*, що забезпечують комфорт, зручність носіння, свободу рухів і відповідність анатомічним особливостям користувача; *високотехнологічні*, які передбачають застосування інноваційних матеріалів, електронних систем і сучасних технологій. Запропоновано удосконалений процес дизайн-проектування смартодягу, що включає структуровано-логічну послідовність таких етапів: визначення завдання на проектування, що доповнене врахуванням технологічних і функціональних можливостей виробу; виконання передпроектних досліджень з важливістю аналізу новітніх технологій та оцінкою сумісності матеріалів із технічними складовими; розробку ескізу та первинної схеми роботи моделі, що передбачає опрацювання схеми функціонування технічної системи; створення першого та другого макетів із внесенням коригувань; виготовлення остаточних лекал і схем інтегрованих пристроїв; затвердження та виготовлення остаточного зразка; розробку проектно-конструкторської документації та впровадження моделі у виробництво.

Основні результати цього розділу дисертації апробовано у статтях [50, 51] та на науково-практичних конференціях [28-30, 32, 33].

РОЗДІЛ 3

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СМАРТТЕХНОЛОГІЙ В ДИЗАЙНІ ОДЯГУ

3.1 Сучасні тенденції в розробках смартвиробів

Розвиток смарттехнологій упродовж останніх років став одним із ключових чинників інноваційних змін у текстильній і модній індустрії. Для аналізу динаміки розвитку смартвиробів і визначення сучасних тенденцій обрано хронологічні межі останніх п'яти років. Дослідження базується на матеріалах взятих з ресурсів Textile Media Services [299], яке спеціалізується на новітніх розробках у текстильній промисловості, та IEEE Spectrum [301], що публікує актуальні дослідження в сфері інженерних і технологічних інновацій.

Аналіз матеріалів за 2021 рік свідчить, що найбільша кількість розробок зосереджена у *сферах спорту та фітнесу*, а також *охорони здоров'я*, де домінують рішення для безперервного біомоніторингу фізіологічних показників користувачів. Прикладом є смартфутболка YouCare, розроблена у червні 2021 року компанією «ZTE Corporation» (Китай) у партнерстві з «AccYouRate Group», «Red Cross Italy», «Let's Web-earable Solutions» (Італія) та «BSP-Medical» (Ізраїль), яка оснащена інтегрованими в текстиль полімерними датчиками, що забезпечують *зчитування електрокардіограми, респіраторної активності, рівня потовиділення, м'язового зусилля та температури тіла* (Додаток В, рис. В.47). Дані фіксуються мініатюрним електронним блоком і передаються через мережу 5G на мобільні пристрої користувача або до віддалених медичних центрів [336].

Схожі функціональні можливості демонструє смартбілизна Skin Underwear компанії «Myant» (Канада), створена в партнерстві з клінікою «PASC Cardiology Clinic» (Канада) у грудні 2021 року (Додаток В, рис. В.48). У структуру текстильного матеріалу інтегровані струмопровідні нитки зі срібла та карбону, а завдяки безшовній трикотажній технології (seamless) і щільному

приляганню до тіла забезпечується *точність зчитування електрокардіограми, частоти серцевих скорочень, дихання, температури тіла, положення тіла, сну та рівня активності користувача*. Вбудовані датчики передають інформацію до знімного модуля Pod із подальшою синхронізацією з мобільним застосунком і медичною платформою, що забезпечує дистанційний моніторинг стану користувача в режимі реального часу [281].

Окремої уваги заслуговує технологія, розроблена у червні 2021 року дослідниками Університету Пердью (США), яка забезпечує *роботу одягу без батарей* завдяки бездротовому живленню від Wi-Fi та радіохвиль. Енергія передається через гнучку шовкову котушку, інтегровану в текстиль, а ультрагідрофобне покриття надає матеріалу водо- та брудовідштовхувальних властивостей. Серед прикладів застосування, безбатарейна рукавичка (Додаток В, рис. В.49 – а), що підсвічує кінчики пальців при наближенні до джерел електричного струму, та система кардіомоніторингу, інтегрована у текстильну пов'язку для контролю фізіологічного стану користувача (Додаток В, рис. В.49 – б) [132].

У розробках *сфери охорони здоров'я* виділяються вироби з *функцією контролю м'язової активності та навантаження*. Так, продукти компанії «Myovolt» (Нова Зеландія), що включають бандаж для спини, плечей, рук та ніг, використовують інноваційну технологію фокальної вібрації – метод фізичної терапії, при якому механічна вібрація низької амплітуди модульованої частоти застосовується до цільових м'язів або сухожилів, щоб забезпечити прискорене відновлення після спортивних травм і м'язової перевтоми (Додаток В, рис. В.50) [124].

Також група інженерів з Університету Юти (США) розробила у листопаді 2021 року технологію перетворення звичайного текстилю (суміш бавовни та поліестеру) на біосенсори, здатні *вимірювати електричні імпульси м'язової активності* (Додаток В, рис. В.51). Технологія передбачає нанесення на текстиль мікроскопічного шару срібла для забезпечення провідності, після чого додається захисний шар золота, що підвищує точність сигналу. Ділянки датчиків

з'єднуються з проводами та портативним пристроєм для електроміографії. Технологію випробувано на компресійному рукаві для передпліччя, однак застосування можливе на шкарпетках, велосипедних штанах, спортивних колготках [238].

Розробки для *повсякденного використання* орієнтовані на *терморегуляцію, персоналізацію комфорту та інтерактивну взаємодію з користувачем*. Прикладом є жилет з підігрівом Ogoro, створений компанією «Ogoro Heated Apparel» (США) у березні 2021 року (Додаток В, рис. В.52). У виробі використовуються вуглецеві нагрівальні елементи, розміщені у 4-х функціональних зонах (права та ліва кишені, комір, верхня частина спинки) для забезпечення рівномірного прогрівання корпусу. Матеріал верху виконаний із водостійкого нейлону, з теплоізоляцією FELLEХ, а підкладка містить антистатичну обробку. Система працює від літій-іонної батареї та підтримує кілька режимів потужності [221].

Подібний підхід до *забезпечення термокомфорту* реалізовано у серпні 2021 року стартапом Н.Е.А.Т. (США), який представив костюм з підігрівом на основі запатентованої технології FabRoc (Додаток В, рис. В.53). Нагрівальні елементи інтегровані у компресійний вологовідштовхувальний матеріал із зонованим розміщенням у ділянках основних артерій, що забезпечує рівномірний розподіл тепла. Керування системою здійснюється через мобільний застосунок з Bluetooth-інтерфейсом, який дозволяє індивідуально налаштовувати температурний режим відповідно до умов експлуатації та фізіологічних потреб користувача [145].

Розробки повсякденного смартодягу охоплюють також *технології активного охолодження*. Так, компанія «Ralph Lauren» (США) у липні 2021 року представила саморегульований пристрій охолодження RL Cooling, інтегрований у тканину куртки (Додаток В, рис. В.54). Технологія, подібна до рішень, що застосовуються у високопродуктивних комп'ютерних системах, забезпечує контрольоване розсіювання тепла від тіла користувача та створює тривалий

охолоджувальний ефект навіть за умов підвищеної температури й вологості [189].

Окрім фізіологічного комфорту, смартодяг для повсякденного використання спрямовується на *взаємодію з емоційним станом користувача*. Прикладом є смартколекція Emotional Clothing розроблена у грудні 2021 року польською дизайнеркою Ігою Венгліньською (Iga Węglińska), що включає інтерактивні боді, здатні змінювати колір або світлові ефекти залежно від біометричних показників (Додаток В, рис. В.55). У конструкції використано термохромні тканини, ламіновану електроніку, світлодіоди та провідні нитки; пульсові й GSR-датчики, які фіксують температуру тіла та рівень стресу, після чого сигнал передається на систему LED-індикації або на термохромні елементи. Живлення забезпечується зовнішніми акумуляторами, а управління здійснюється автоматично, на основі біозворотного зв'язку у реальному часі [178].

Найменша кількість інновацій у 2021 році припадає на *сферу безпеки та спеціалізованого професійного застосування*, однак саме ці рішення вирізняються підвищеним рівнем технологічної складності. Наприклад, для захисту працівників у промисловості, стартап «Verve Motion» (США) у липні 2021 року представив легкий текстильний екзоскелет SafeLift (Додаток В, рис. В.56). Виріб виконаний у формі жилета з технічного текстилю та оснащений датчиками руху, які керують екзоскелетними приводами в режимі реального часу, забезпечуючи підтримку лише за потреби. Це дозволяє *зменшити навантаження на спину* на 30-40 % протягом робочої зміни. Система працює понад 12 годин від літій-іонної батареї, а дані про експлуатацію передаються до хмарного сервісу для аналізу ризиків та оцінки ефективності роботи [321].

Також у жовтні 2021 року вийшла спільна розробка Німецького аерокосмічного центру спільно з компанією «DSI Aerospace Technologie» (Німеччина), медичним факультетом Білефельдського університету (Німеччина) та партнером з текстильних досліджень «Hohenstein» (Німеччина), а саме смартфутболка SmartTex, призначена для *оцінки впливу космічного середовища*

на серцево-судинну систему астронавтів (Додаток В, рис. В.57). Виріб оснащено датчиками в зоні серця та сонної артерії для безперервного зчитування фізіологічних показників, які передаються бездротово на модулі Міжнародної космічної станції та наземні центри. Система працює автономно з дистанційним керуванням, забезпечуючи точний медичний моніторинг під час тривалих місій [149].

Отже, відповідно до проведеного аналізу встановлено, що розвиток смарттехнологій у 2021 році характеризується такими тенденціями:

- найбільша кількість розробок припадає на сфери спорту та фітнесу, а також охорони здоров'я, де домінують рішення для безперервного біомоніторингу фізіологічних показників, контролю м'язової активності та рівня фізичного навантаження користувачів;
- відзначено активне впровадження технологій інтеграції електронних компонентів у структуру текстильних матеріалів, що сприяє підвищенню гнучкості, комфорту виробів і покращенню їхніх естетичних характеристик;
- спостерігається поширення розробок із бездротовою передачею даних та інтеграцією з цифровими платформами, що усуває необхідність використання проводів, підвищує безпеку експлуатації та розширює можливості формоутворення;
- з'явилися рішення з бездротовим живленням та енергозбірними технологіями, що зменшує вагу виробів та підвищує комфорт носіння.

У 2022 році зростає кількість розробок у сфері охорони здоров'я, прикладом є розроблена дослідниками Університету Лаваль (Канада) у січні цього ж року смартфутболка для моніторингу дихання (Додаток В, рис. В.58). Виріб оснащений мережею з шести тонких спіральних антен, інтегрованих у текстильний матеріал, які деформуються під час вдихів і видихів. Деформація антен фіксується бездротовими Bluetooth-модулями, що передають дані на базову станцію для аналізу респіраторного патерну користувача. Футболка

автоматично обирає оптимальний датчик з шести залежно від анатомії тіла користувача, що забезпечує точне відстеження змін дихання навіть під час руху [147].

Подібну розробку здійснили науковці Інституту керамічних технологій та систем Фраунгофера (Німеччина) у серпні 2022 року, створивши текстильний жилет для безперервного *моніторингу функції легень* (Додаток В, рис. В.59). Пристрій оснащений п'єзокерамічними датчиками, інтегрованими в передню та задню частину жилета, які реєструють навіть найменші шуми дихання. Зібрані сигнали передаються на обчислювальну платформу, де їх візуалізують і аналізують за допомогою *алгоритмів цифрової обробки та машинного навчання*. Система дозволяє точно локалізувати джерело звуку в легенях та накопичувати дані протягом 24-годинних інтервалів, що дає змогу контролювати стан пацієнтів поза межами відділення інтенсивної терапії, у загальних палатах або вдома [154].

Проривним рішенням став смартбюстгалтер SmartBra, здатний безінвазивно та без використання рентгенівського випромінювання *виявляти вузли та потенційно ракові утворення на ранніх стадіях*, що був представлений у березні 2022 року нігерійською інженеркою та засновницею компанії «Nextwear Technology» К. Боларінвою (К. Bolarinwa). У чашках виробу інтегровані мініатюрні доплерівські датчики, що здійснюють регулярне ультразвукове сканування тканин молочних залоз (Додаток В, рис. В.60). Пристрій живиться від літій-полімерного акумулятора та передає дані через IoT-компоненти до мобільного застосунку, де відбувається обробка та інтерпретація інформації [64].

Далі варто відзначити розробку, яка може застосовуватися як у *сфері охорони здоров'я*, так і в *спорті та фітнесі*. У вересні 2022 року дослідники Імперського коледжу Лондона (Велика Британія) створили футболки та маски з *безшовно інтегрованими датчиками* у тканину (Додаток В, рис. В.61). Для цього використовували бавовняно-провідну нитку PESOTEX, сумісну з промисловими машинами для вишивання, яка забезпечує високу провідність, зносостійкість і витримує машинне прання до 30 °С. Завдяки використанню цієї технології маски

забезпечують моніторинг дихальної активності, а футболки реєструють дані серцевого ритму та концентрації аміаку у видихуваному повітрі, що слугує важливим біомаркером функціонального стану печінки та нирок [88].

У сфері спорту та фітнесу розробки зосереджені на моніторингу фізіологічних показників та відстеженні рухів тіла. Так, у жовтні 2022 року компанії «AI SILK Corporation» та «Kuraray» (Японія) представили смартрукавички, виготовлені з інноваційного провідного текстилю на основі волокон Kuraray (Додаток В, рис. В.62). Струмопровідний текстиль забезпечує високоточне вимірювання життєвих показників (пульс, електрокардіограму) у реальному часі, виміряні значення можна виводити на планшет або смартфон, оптимізуючи таким чином тренування [176].

Також дослідники з Університету штату Північна Кароліна (США) у листопаді 2022 року запропонували метод створення недорогих носимих електронних пристроїв шляхом машинної вишивки енергогенеруючих ниток на тканині (Додаток В, рис. В.63). Технологія передбачає використання груп тонких мідних дротів з поліуретановим покриттям у поєднанні з ниткою з політетрафторетилену. Під час руху, дотику або згинання між матеріалами виникає електричний сигнал завдяки трибоелектричному ефекту. На основі цієї розробки можна створювати саможивильні датчики руху, п'єдометри, інтегровані у взуття, а також текстильні тактильні клавіатури. Вишиті сенсорні елементи продемонстрували високу довговічність і стійкість до механічних навантажень та прання без суттєвої втрати електричних характеристик [227].

Розробки у сфері повсякденного використання спрямовані на забезпечення комфортного мікроклімату користувача та розширення інтерактивних можливостей одягу. Наприклад, у грудні 2022 року виробник «Sundance» (Китай) представив багатофункціональну смарткуртку Heptathlon Black Technology Down Jacket, оснащену графеновою нагрівною плівкою та теплопровідною підкладкою з трирівневим регулюванням температури (Додаток В, рис. В.64). Виріб також має інтегровану систему вібраційного масажу в зоні спини та попереку, а для додаткового комфорту передбачено надувний комір для

підтримки шиї, який активується вручну. Живлення забезпечується вбудованою літій-іонною батареєю, керування функціями нагріву й масажу здійснюється кнопкою у внутрішній кишені, а додаткові USB-порти дозволяють заряджати мобільні пристрої [177].

Ще одним прикладом повсякденного використання стала смартфутболка з *інтегрованим сенсорним екраном*, який може виконувати функцію пульта дистанційного керування, розроблена у лютому 2022 року дослідниками Технічного дослідницького центру VTT (Фінляндія). Ємнісні електроди надруковані на текстильному матеріалі із застосуванням гнучкої графенової технології забезпечують високу електропровідність, механічну міцність і розтяжність до 10% без втрати функціональності (Додаток В, рис. В.65). Сенсорна панель, вбудована у текстиль, реагує на дотик аналогічно традиційним електронним екранам, залишаючись при цьому легкою, гнучкою та зручною для носіння [198].

Таким чином, на основі аналізу смартрозробок 2022 року виявлено такі основні тенденції:

- суттєво зросла кількість розробок у сфері охорони здоров'я, орієнтованих на безперервний моніторинг дихання та серцевої діяльності, контроль фізіологічних показників, аналіз біомаркерів і ранню діагностику патологічних змін;
- помітно збільшилася інтеграція електронних компонентів у текстиль, що забезпечує створення гнучких, легких і комфортних у використанні виробів;
- з'явилася технологія машинної вишивки енергогенеруючих ниток на текстильному матеріалі, що сприяє розробці саможивильних носимих систем без використання громіздких джерел живлення;
- для аналізу зібраних даних з датчиків почали застосовуватися алгоритми цифрової обробки та машинного навчання, що значно покращує виконання поставлених завдань;

- продовжується впровадження бездротових модулів передачі даних, які забезпечують передачу інформації від смартфона на мобільні пристрої або обчислювальні платформи без кабелів, тим самим підвищуючи зручність та функціональність виробів.

У 2023 році зберігається зацікавленість у розробках у *сфері охорони здоров'я*, де помітно зростає увага до створення інклюзивного одягу для осіб із вадами слуху. Наприклад, у лютому цього року стартап «Tactus» (США/Нідерланди) представив інноваційні вібраційні жилет та топ, призначені для людей із порушеннями слуху, які забезпечують *сприйняття музики через тактильні відчуття* (Додаток В, рис. В.66). Технологія ґрунтується на пропрієтарній системі вібротактильних зон із вбудованими провідними нитками, які перетворюють аудіосигнали на чуттєві вібрації з низькою затримкою. Сигнал передається через Bluetooth до процесора, який у реальному часі обробляє звук та активує відповідні вібрзони. Живлення забезпечує знімна акумуляторна батарея, що дозволяє використовувати виріб кілька годин без підзарядки [335].

Дещо пізніше, у липні 2023 року, інженери студії «Not Impossible Labs» (США) розробили інноваційний жилет та аксесуари (браслети на зап'ястях і щиколотках) із *вбудованими вібромодулями* для людей із порушеннями слуху або повною глухотою (Додаток В, рис. В.67). Пристрої перетворюють звукові сигнали на тактильні вібрації, що передаються через шкіру користувача, дозволяючи сприймати музику під час концертів. Система працює через бездротове з'єднання (Bluetooth, Wi-Fi або LoRa) з аудіосервером, мінімізуючи затримку сигналу, а інтенсивність вібрацій можна регулювати вручну з відображенням змін через кольорові світлодіодні індикатори [315].

Ще одним важливим напрямом у *сфері охорони здоров'я* є розробка виробів для реабілітації. Науковці з Федерального університету Еспіріту-Санту (Бразилія) у липні 2023 року створили інноваційні смартштани для *спостереження за рухами, реабілітації та моніторингу активності* літніх людей (Додаток В, рис. В.68). Уздовж обох штанин вплетені дві полімерні оптичні нитки з 30 сенсорними зонами кожна. Технологія працює на принципі

зміни інтенсивності світлового сигналу: при згинанні волокна змінюється світловий потік, який фіксується вбудованими фотодетекторами. Дані надходять до портативного модуля в кишені, що живить систему та передає інформацію через Bluetooth або інші IoT-протоколи до хмарного сховища для обробки алгоритмами машинного навчання [78].

Для *реабілітації після інсульту* у липні 2023 року компанія «Kurage» (Франція) представила інноваційну систему NeuroSkin, що включає жилет, штани та взуття з еластичного текстилю з інтегрованими м'якими електродами для *електростимуляції паралізованих м'язів* (Додаток В, рис. В.69). Технологія заснована на *AI-контрольованій електростимуляції*, де система аналізує мозкові імпульси здорової ноги та відтворює їх на паралізованому боці для корекції ходи. Основний AI-блок у жилеті живиться від вбудованих акумуляторів, збирає дані обох ніг у реальному часі та автоматично активує електроди відповідно до шаблону ходи [233].

Основною функцією одягу у *сфері спорту та фітнесу* залишається *моніторинг фізіологічних параметрів*. Так, у березні 2023 року дослідники з «ETH Zurich» (Швейцарія) представили спортивні штани-легінси, здатні в режимі реального часу визначати ступінь фізичної втоми користувача (Додаток В, рис. В.70). Виріб виготовлений з еластичного трикотажу з інтегрованою вставкою зі спіральної сенсорної пряжі, що складається з провідного каучукового волокна, обгорнутого пластикомізолюючим дротом. Така структура утворює текстильний конденсатор, який змінює свою ємність при розтягненні в процесі руху. Зібрані електричні сигнали передаються бездротовим способом на смартфон через петльову антену з провідної пряжі, пришитої до текстильного матеріалу [121].

У вересні 2023 року компанія «AccYouRate» (Італія) представила інноваційну смартмайку, виготовлену з органічної бавовняної тканини з інтегрованими полімерними датчиками, які *вимірюють електрокардіограму, частоту та глибину дихання, температуру тіла, прискорення, GPS-координати та положення тіла* (Додаток В, рис. В.71). Дані обробляє мініатюрний блок

управління, який передає їх на двонаправлену платформу. Платформа передає дані користувачеві через смартфон або смартгодинник, а потім на віддалений пристрій, який аналізує дані. У разі виявлення аномалій система надсилає сповіщення та рекомендації щодо подальших дій [254].

У сфері повсякденного використання реалізовано рішення з функцією контролю мікроклімату користувача. Компанія «Carhartt» (США) у лютому 2023 року представила жилет із підігрівом Carhartt X-1 (Додаток В, рис. В.72). Жилет оснащено трьома нагрівальними елементами та датчиком температури. Керування здійснюється через Bluetooth за допомогою застосунку clim8, який на основі алгоритмів штучного інтелекту аналізує температуру тіла, рівень фізичного навантаження й зовнішні умови, автоматично регулюючи інтенсивність підігріву. Живлення забезпечується літій-іонною батареєю з автономністю до 10 годин [188].

Смарттехнології почали інтегруватися і у сферу високої моди. У жовтні 2023 року компанія «Adobe Research» (США) у співпраці з дизайнером К. Кованом (С. Cowan) представили цифрову інтерактивну сукню Project Primrose, виготовлену з використанням PDLC-пелюсток – рідкокристалічних елементів, інтегрованих у гнучку текстильну основу (Додаток В, рис. В.73, В.74). Сукня може змінювати колір та візерунки в реальному часі завдяки вбудованим датчикам руху, звуку та системі дистанційного керування. Технологія тісно пов'язана з програмним забезпеченням Adobe, що дозволяє налаштовувати анімації та дизайн за допомогою таких інструментів, як Adobe Illustrator та After Effects [66, 159].

Таким чином, відповідно до розглянутих розробок 2023 року можна виділити наступні тенденції розвитку смарттехнологій в дизайні одягу:

- основною сферою залишається охорона здоров'я, зокрема створення виробів для сприйняття звуків через тактильні відчуття людьми з порушенням слуху та одягу для реабілітації після інсульту, а також з'явилися нові розробки у сфері високої моди з інтерактивним керуванням;

- у текстильних матеріалах дедалі частіше почали використовуватися провідні нитки, оптичні волокна та гнучкі основи, що дозволяє реалізовувати різноманітні дизайнерські рішення, не обмежуючись жорсткістю матеріалів.;
- спостерігається широке застосування бездротових каналів передачі даних, що підтверджує їх ефективність та безпечність застосування;
- зросла кількість розробок з використанням алгоритмів штучного інтелекту, машинного навчання та хмарного зберігання даних, які дозволяють адаптувати виріб під потреби користувача та покращують його функціональні можливості.

Продовжуючи аналізувати смартрозробки у *сфері охорони здоров'я*, у грудні 2024 року дослідники Імперського коледжу Лондона (Велика Британія) розробили смартфутболку для *відстеження серцевого ритму та виявлення спадкових захворювань серця*. Виріб має тонкі текстильні проводи, що вимірюють електрокардіограму, потім передає інформацію на смартфон або *хмарний сервіс* (Додаток В, рис. В.75). Дані у реальному часі обробляються *штучним інтелектом*, навченим на розпізнавання вроджених аритмій, який класифікує серцеві патерни для покращення діагностики та лікування [246].

У серпні 2024 року компанія «Cute Circuit» (Велика Британія) створила інклюзивні смартфутболки Sela Sound Shirt для вболівальників футбольного клубу «Newcastle United», які мають *порушення слуху* (Додаток В, рис. В.76). Тактильна мережа датчиків у реальному часі перетворює звуки трибун на вібрації, які відчуває користувач [62].

Для *підвищення ефективності ходьби* літніх людей та осіб з обмеженою рухливістю у жовтні 2024 року дослідники Гайдельберзького університету Рупрехта-Карла та Мюнхенського технічного університету (Німеччина) представили роботизовані шорти (Додаток В, рис. В.77). Технологія базується на *штучних сухожиллях*, активованих двигунами відповідно до фази кроку, що підтримують рух стегон. Живлення забезпечує портативний літій-полімерний

акумулятор, а керування здійснюється мікроконтролером, який отримує дані від датчиків кута згинання стегна через Bluetooth Low Energy і формує адаптивний профіль допомоги [306].

Подібною розробкою є експериментальний прототип рукава, що *імітує функцію м'язів* та був представлений у червні 2024 року науковцями Лінчепінзького університету (Швеція) та Університету Борос (Швеція). Прототип виконаний з еластичних ниток, покритих провідним полімером (PEDOT та поліпірол), які під дією електричного струму скорочуються або розтягуються (Додаток В, рис. В.78). Паралельне з'єднання кількох таких ниток формує текстиль підвищеної міцності, здатний скорочуватися й розтягуватися подібно до м'язів [302].

У сфері охорони здоров'я варто також відзначити *інноваційну технологію SeamSleeve*, створену дослідниками Університетів Бата та Брістоля (Велика Британія) у липні 2024 року, яка перетворює звичайні шви в одязі на високоточні датчики руху (Додаток В, рис. В.79). У конструкції використовуються провідні нитки, вшиті у стандартні оверлочні шви, через які подається напруга, а зміни опору при русі тіла фіксуються як сигнал. Живлення надходить бездротовим способом через зарядну котушку та активується мобільним телефоном у кишені. Система підтримує обробку даних через мобільні додатки з елементами штучного інтелекту, що дозволяє точно відстежувати рухи. Така технологія може застосовуватися в одязі для фізіотерапії, контролю виконання вправ і реабілітації [105].

Для *повсякденного використання* залишаються актуальні розробки, які *регулюють температуру тіла* користувача. Компанія «HeiQ» (Швейцарія) у співпраці з брендом «GQ Apparel» (Таїланд) розробили у серпні 2024 року джинси GQ Cool Tech з *охолоджувальним ефектом* (Додаток В, рис. В.80). Текстильна основа виконана з традиційного деніму, на виворітну сторону якого локально нанесено біо-базований полімер HeiQ Cool. Технологія не потребує живлення чи електроніки: полімер активується при контакті зі шкірою,

поглинаючи та випаровуючи тепло й забезпечуючи миттєве та тривале відчуття охолодження [151].

Також появились розробки, що мають властивість *змінювати колір*. У березні 2024 року бренд «Vollebak» (Велика Британія) презентував високотехнологічну водонепроникну і вітростійку куртку Firefly Jacket (Додаток В, рис. В.81). Куртка виготовлена з 5-шарової тканини, де три шари виготовлені з прозорої поліамідної сітки, між якими розташовані дві мембрани: флуоресцентна, що реагує на УФ-світло та денне освітлення, надаючи мідно-помаранчевий відтінок, і фосфоресцентна, яка світиться жовто-зеленим у темряві або під ультрафіолетом. Завдяки цим шарам виріб змінює зовнішній вигляд 24/7, переломлюючи відтінки залежно від умов освітлення [317].

Ще одним прикладом у *сфері повсякденного використання* є футболки з *доповненою реальністю*, які поєднують текстиль із цифровим контентом, презентовані у січні 2024 року компанією «Avery Dennison» (США). Вплетена NFC-нашивкп працює на основі *хмарної платформи з підтримкою технології блокчейн* для забезпечення унікальної ідентифікації кожного виробу (Додаток В, рис. В.82). Користувач може активувати AR, просканувавши QR-код камерою або піднісши смартфон до NFC-зони, після чого на пристрої з'являється цифровий контент – анімоване відео або контактні дані, пов'язані з платформою [225].

Сфера спорту та фітнесу зосереджена на розробках для *підтримки комфортної температури тіла та відстеження рухів*. У серпні 2024 року дослідники Гонконзького політехнічного університету (Китай) створили футболку з активним керуванням потовиділення. «Шкіроподібні» анти-теплові тканини з вбудованими провідними шляхами та мембранами Omni Cool Dry під низьковольтним керуванням транспортують піт до розсіювача та швидко видаляють його (Додаток В, рис. В.83). Користувач може регулювати інтенсивність випаровування поту через мобільний додаток із бездротовим керуванням [68].

У жовтні 2024 року розробники з Університету Корнелла (США) представили сорочку з *технологією SeamPose* (Додаток В, рис. В.84). Струмopрoвідні шви з ізолюванoгo пoсрiбленoгo нейлoну рoзтaшoвані вздoвж ділянок плечей і рукавів. Під час руху користувача шви розтягуються, змінюючи ємність, що реєструється сенсорною платою з мікроконтролером. Дані бездротово передаються через Bluetooth Low Energy на комп'ютер, де *алгоритми глибокого навчання* відтворюють 3D-кінематику положення плечей і рук для точного відстеження рухів верхньої частини тіла [146].

У сфері захисту та безпеки у серпні 2024 року науковці Гонконзького політехнічного університету (Китай) розробили термоізоляційний і дихаючий *м'який роботизований одяг*, який автоматично адаптується до змін температури навколишнього середовища, допомагаючи забезпечити безпеку працівників у спекотних умовах (Додаток В, рис. В.85). Текстиль із вбудованими приводами містить нетоксичну рідину з низькою температурою кипіння, яка при нагріванні перетворюється на газ та розширюється, збільшуючи повітряний прошарок для покращеної теплоізоляції. Така термостимульована система подвоює термічний опір матеріалу та підтримує комфортну внутрішню температуру навіть за високих зовнішніх умов [168].

Нова інноваційна розробка з'явилася у сфері модної індустрії у січні 2024 року, коли дослідники Массачусетського технологічного інституту (США) представили 4D-трикотажну сукню, що змінює форму під впливом тепла (Додаток В, рис. В.86). Виріб виготовляється методом *безшовного в'язання* на комп'ютеризованому обладнанні, де програмований дизайн завантажується в «руку-робота». Завдяки використанню термочутливих ниток, які скорочуються в заданих зонах при нагріванні, створюються складки, заціпи й об'ємні елементи без необхідності зшивання. Це дозволяє адаптувати конструкцію виробу до тіла або змінювати його вигляд у реальному часі [69].

Отже, на основі розглянутих смартрозробок у 2024 році можна виділити такі провідні тенденції:

- інновації у сфері охорони здоров'я залишаються найпоширенішими та включають безперервне відстеження фізіологічних показників, підтримку реабілітаційних і фізіотерапевтичних програм, також зросли розробки для повсякденного використання з адаптацією до температурних умов та зміною зовнішнього вигляду відповідно до навколишнього середовища;
- спостерігається впровадження технології інтеграції провідних ниток у шви виробів, що позитивно впливає на їхні естетичні характеристики;
- почала застосовуватися технологія створення 4D-конструкції, яка під дією тепла дозволяє змінювати дизайн виробу;
- роботизовані системи стали більш «мякими», забезпечуючи більш комфортне використання виробів та зменшуючи відчуття дискомфорту або обмеження рухів;
- активно використовуються бездротові модулі передачі даних, обробка сигналів зі штучним інтелектом, хмарні обчислення, а також технології доповненої та змішаної реальності, що впливають на покращення взаємодії користувача з смартвиробами.

Розглядаючи розробки 2025 року, прикладом у сфері *охорони здоров'я* є смартпіжама, створена у лютому 2025 року вченими Кембриджського університету (Велика Британія), призначена для *моніторингу сну та виявлення порушень*, таких як *апное*, *хрипіння* та *бруксизм* (Додаток В, рис. В.87). Комір виробу оснащено 6-канальним масивом високочутливих *деформаційних датчиків*, здатних фіксувати ледь відчутні вібрації зовнішніх м'язів гортані, що відповідають різним фазам і режимам сну. Зібрані сигнали бездротово передаються через потенціостат і мультиплексор до спеціалізованої *моделі глибокого навчання SleepNet*, яка здійснює автоматизовану класифікацію станів сну користувача [296].

Ще однією розробкою, орієнтованою на *збір життєво важливих показників пацієнтів* і скорочення тривалості післяопераційного перебування в стаціонарі, є смартфутболка, представлена у березні 2025 року науковцями

Університету Сапієнца в Римі у співпраці з компанією «LET's Webearable Solutions» (Італія) (Додаток В, рис. В.88). Виріб оснащений інтегрованими сенсорними модулями, що забезпечують безперервне вимірювання електрокардіограми, частоти дихання та серцевих скорочень, температури тіла, артеріального тиску, пульсу, рівня сатурації та глюкози в крові. Отримані дані передаються до мобільного застосунку та вебплатформи, що дає змогу здійснювати *дистанційний моніторинг* стану пацієнта медичним персоналом у режимі реального часу [282].

У сфері спорту та фітнесу виділяються вироби для безперервного *відстеження частоти серцевих скорочень* після фізичного навантаження, як майка, створена у квітні 2025 року дослідниками з Університету Іллінойсу в Урбана-Шампейні (США) (Додаток В, рис. В.89). Вбудовані датчики збирають детальні кардіодані, що усуває потребу у використанні складного медичного обладнання. Зібрана інформація передається на мобільний пристрій, де обробляється за допомогою *алгоритмів машинного навчання*, що дозволяє оперативно оцінити серцево-судинний ризик [276].

Для автоматичного *відстеження постави та виконання фізичних вправ* у квітні 2025 року дослідники Університету Корнелла (США) розробили смартфутболку (Додаток В, рис. В.90). Виріб виготовлено зі стандартного бавовняного трикотажу з *інтегрованими гнучкими провідними нитками у шви* горловини, рукавів і боків, які при деформації змінюють свою ємність. Знімна друкована плата, розташована на комірці, реєструє ці сигнали та передає дані через Bluetooth для подальшої обробки. *Штучний інтелект* аналізує отримані дані, розпізнає тип вправ і підраховує повторення, забезпечуючи високу точність без необхідності носити громіздкі трекери або камери [87].

Для *повсякденного використання* у лютому 2025 року дослідники Американського хімічного товариства (США) та Лабораторії штучного інтелекту в дизайні (Китай) представили смарткуртку (Додаток В, рис. В.91), яка використовує *штучний інтелект* для *регулювання температури та запобігання перегріву*. У верхній частині спинки розташована вставка з термохромного

електронного текстилю з нагрівальними елементами та системою контролю температури. Завдяки мікроконтролерам, датчикам навколишнього середовища та бездротовому з'єднанню Bluetooth система забезпечує комплексний контроль підігріву тіла користувача [224].

Також у травні 2025 року дослідники «ETH Zurich» (Швейцарія) розробили футболку (Додаток В, рис. В.92) з текстильного матеріалу SonoTextile, що використовує звукові хвилі для вимірювання дотику, тиску та руху користувача. Виріб виготовлено шляхом *вплетення мікроскопічних скляних волокон*, які проводять акустичні хвилі: один кінець волокна має передавач, інший – приймач, що фіксує зміни хвиль у разі деформації тканини, спричиненої рухами тіла або навіть диханням. Дані можуть у реальному часі передаватися на смартфон або комп'ютер для подальшого аналізу [194].

Таким чином, період 2025 року характеризується такими тенденціями у розвитку смарттехнологій у дизайні одягу:

- розробки у сферах охорони здоров'я, спорту та фітнес а також повсякденного використання переважно орієнтовані на відстеження фізіологічних показників тіла користувача;
- спостерігається поширення інтеграції гнучких датчиків та провідних матеріалів у структуру текстилю або шви, що свідчить про практичне підтвердження ефективності таких рішень;
- помітно широке застосування бездротових модулів передачі даних, алгоритмів машинного та глибокого навчання, а також систем штучного інтелекту.

Аналізуючи сучасний стан розвитку смарттехнологій в дизайні одягу в Україні, встановлено, що найбільш поширеним видом є *вироби з функцією підігріву*. У 2021 році Східноукраїнський технокластер (м. Краматорськ) спільно з підприємством «VELNA» (м. Українськ) розробили куртку та жилет із вбудованими вуглецевими нагрівальними елементами, розміщеними в зоні грудей, рукавів і спини, з керуванням через мобільний застосунок та

підключенням до зовнішнього джерела живлення (Додаток В, рис. В.93). Подальший розвиток проєкту передбачав розширення асортименту та інтеграцію датчиків для моніторингу фізіологічних показників, рівня вологості та якості повітря з виведенням інформації у мобільний додаток. Проте реалізація цих планів була призупинена у зв'язку з початком повномасштабної війни в Україні у 2022 році [57].

Ще одним представником сучасного українського смартодягу з автономною системою обігріву є ТМ «Shine» (м. Харків). В асортименті представлені жилети з електропідігрівом, сертифіковані відповідно до чинних стандартів ДСТУ/ТУ (Додаток В, рис. В.94). Обігрів забезпечується двома інфрачервоними нагрівачами з вуглецевої нитки, розміщеними в зоні шиї та спини. Живлення здійснюється через USB-порт від PowerBank, а система керування передбачає трисекундне натискання для увімкнення виробу та повторні натискання для вибору температурного режиму [11].

Також український бренд «Freever» (м. Одеса) виготовляє зимові куртки з електропідігрівом IWARM Freever SF (Додаток В, рис. В.95). Нагрівальні елементи з вуглецевого волокна розміщені вздовж хребта та підключаються до зовнішнього блоку живлення через USB-інтерфейс, інтегрований у внутрішню кишеню виробу. Система передбачає три режими нагріву, керування здійснюється за допомогою зовнішньої кнопки, розташованої на правому передпліччі, що забезпечує швидке перемикання температурних режимів. LED-індикатор дозволяє контролювати рівень нагрівання [59].

Попри наявність окремих смартрозробок, загалом сферу смарттехнологій в Україні наразі можна охарактеризувати як недостатньо розвинену, хоча потреба у впровадженні однозначно існує, особливо в умовах війни, де смартвироби здатні забезпечити додаткову функціональність для військових і рятувальних підрозділів. Для розвитку галузі смартодягу в Україні необхідно здійснити низку комплексних заходів, серед яких ключовими є інвестиції у наукові дослідження, підтримка інноваційних стартапів, модернізація матеріально-технічної бази виробництва, а також налагодження міжгалузевої

співпраці між науковими установами, підприємствами легкої промисловості та ІТ-сектором.

Варто зазначити, що для визначення загальних тенденцій розвитку смарттехнологій протягом останніх п'яти років доцільно орієнтуватися на міжнародний досвід, оскільки український ринок смартодягу наразі перебуває на початковому етапі свого розвитку. Інформацію про закордонні розробки систематизовано в табл. Е.3 Додатку Е. На основі цих даних побудовано діаграми, що ілюструють тенденції розвитку смартвиробів за сферами використання (Додаток Д, рис. Д.10), за технологічними новаціями (Додаток Д, рис. Д.11) та текстильними матеріалами (Додаток Д, рис. Д.12).

Підсумовуючи результати аналізу, виділено основні тенденції характерні для досліджуваного період розвитку смарттехнологій в дизайні одягу. Встановлено, що найпоширенішою сферою смартрозробок є охорона здоров'я, де вироби переважно орієнтовані на моніторинг фізіологічних показників, таких як частота серцевих скорочень, дихання, температура тіла та рівень потовиділення, а також поведінкових параметрів, що включають спостереження за рухами та положенням тіла та зчитування м'язових зусиль, окрім цього, активно створюються вироби, призначені для реабілітації та ранньої діагностики захворювань. Наступною тенденцією виділено активне впровадження технологій інтеграції електронних компонентів, провідних ниток та оптичних волокон у структуру текстильних матеріалів, що дозволяє підвищити комфорт і пластичність виробів, уникнути громіздкості конструкцій та розширити варіативність дизайнерських рішень. Також з'явилися рішення із бездротовим живленням та енергогенеруючими елементами, інтегрованими у текстильні матеріали, що сприяє розробці автономних смартвиробів без використання громіздких джерел живлення та, відповідно, покращенню їхніх естетичних і ергономічних характеристик. Спостерігається стійка тенденція до застосування у розробках бездротових каналів передачі даних, що усуває необхідність використання проводів, підвищує безпеку експлуатації та покращує естетичні характеристики виробів, а також все більша кількість розробок передбачає

використання технологій обробки сигналів із застосуванням штучного інтелекту, хмарних обчислень, доповненої та змішаної реальності, що сприяє підвищенню адаптивності та функціональності смартодягу.

3.2 Комплексний підхід у дизайн-проектуванні сучасних смартвиробів

Як зазначалося в розділі 2, пункті 2.5, проектування виробів з інтеграцією смарттехнологій передбачає врахування естетичних, функціональних, ергономічних і високотехнологічних аспектів. Проте ці аспекти не можуть розглядатися відокремлено один від одного, адже створення якісних смартпродуктів можливе лише за умови комплексного підходу, в якому всі складові взаємодіють як єдина система. Тобто технічна складова повинна органічно поєднуватися з функціональними та ергономічними характеристиками виробу, не порушуючи при цьому його естетичної виразності.

Нами сформовано критерії оцінювання смартвиробів та відповідно до проаналізованих розробок визначено сучасні рішення, які застосовують дизайнери для розв'язання проблем комплексного дизайн-проектування.

Критерій 1. Відповідність естетичних характеристик функціональному призначенню. Тобто загальний зовнішній вигляд виробу, що включає кольорові рішення, текстуру матеріалів, силует, форму, конструктивні і декоративні рішення, повинен відповідати конкретним умовам використання та враховувати емоційне сприйняття користувачем.

У сучасних розробках відповідність даному критерію спостерігається у таких рішеннях:

- *підбір кольорів* здійснюється *відносно сезону та умов використання*, наприклад, у виробках, які призначені для носіння восени та зимою застосовуються темні відтінки (чорні та сірі), як у жилетах з підігрівом компаній «Ororo Heated Apparel» (Додаток В, рис. В.52) [221], «Carhartt» (Додаток В, рис. В.72) [188], у костюмі бренду «H.E.A.T.» (Додаток В, рис.

В.53) [145], світлі відтінки – для носіння в теплий період року, як світло-зелений у футболці з активним керуванням потовиділення Гонконзького політехнічного університету (Додаток В, рис. В.83) [68] та білий в куртці із системою охолодження температури бренду «Ralph Lauren» (Додаток В, рис. В.54) [189];

- *використання кольорів із визначеним психологічним ефектом*, зокрема синього, що сприяє заспокоєнню, у смартфутболці SmartTex для оцінки серцево-судинної системи астронавтів (Додаток В, рис. В.57) [149] та у смартфутболці для реєстрації даних серцевого ритму та концентрації аміаку Імперського коледжу Лондона (Додаток В, рис. В.75) [246];
- *застосування принтованих рішень* для візуально привабливого зовнішнього вигляду, наприклад, інтерактивні боді дизайнерки Іги Венглінської (Додаток В, рис. В.55) містять принт, що моделює анатомію тіла [178], тоді як у футболці Sela Sound Shirt компанії «Cute Circuit» (Додаток В, рис. В.76) принт дозволяє визначати прихильність вболівальника до певної команди [62];
- у виробках, де необхідно підкреслити фігуру використовується прилеглий силует, як в інтерактивній сукні Project Primrose компанії «Adobe Research» (Додаток В, рис. В.73, В.74) [66, 159] та в 4D-трикотажній сукні Массачусетського технологічного інституту (Додаток В, рис. В.86) [69]; також в інтерактивних боді дизайнерки Іги Венглінської (Додаток В, рис. В.55) конструктивно закладені членування та вставки, які надають виробу додаткового естетичного вираження.

Критерій 2. Узгодження естетичних та ергономічних характеристик виробу. Конструктивні та технологічні рішення, а також підбір матеріалів повинні повинні узгоджуватися зі стилем та загальним художнім образом., враховувати анатомічні та фізіологічні особливості користувача, забезпечувати свободу рухів, зручність носіння, а також адаптацію до кліматичних і експлуатаційних умов.

Сьогодні дизайнерами пропонуються такі рішення для узгодження естетичних та ергономічних характеристик виробів:

- *проектування анатомічно відповідного фігурі крою*, що забезпечує свободу рухів і водночас зберігає естетичну виразність форми, як у костюмі з підгіривом бренду «Н.Е.А.Т.» (Додаток В, рис. В.53) [145];
- *використання трикотажного матеріалу* в смартбілизні Skiin Underwear компанії «Myant» (Додаток В, рис. В.48) забезпечує щільне анатомічне прилягання, підкреслює пластику фігури, а *застосування безшовної технології* мінімізує ризик натирання, підвищуючи рівень комфорту під час експлуатації [281].
- *конструктивні рішення* забезпечують захист від несприятливих природніх умов та дають змогу адаптувати виріб до індивідуальних особливостей фігури, наприклад, в текстильному жилеті для безперервного моніторингу функції легенів Інституту керамічних технологій та систем Фраунгофера (Додаток В, рис. В.59) бічні пати дають можливість регулювати ступінь прилягання виробу до тіла [154], в смарткуртці виробника «Sundance» (Додаток В, рис. В.64), а також в смарткуртці Американського хімічного товариства (Додаток В, рис. В.91) деталі, такі як комір-стійка, пати, куліски, планки підвищують захист від вітру та водночас є декоративними елементами [177, 224].

Критерій 3. Узгодження естетичних та технологічних характеристик. Залежно від стилістичного рішення виробу, датчики, модулі, батареї та інші технічні деталі можуть бути прихованими, помітними зі збереженням пропорційності відносно загальної форми або навмисно акцентованими.

Прикладами відповідності естетичних і технологічних характеристик у сучасних виробках є:

- *використання електронних компонентів*, інтегрованих у внутрішній шар одягу, що дає змогу зберігати традиційний зовнішній вигляд виробів без порушення їх стилістичної цілісності, це можна відслідкувати у розробках

одягу з підігрівом компаній «Orogo Heated Apparel» (Додаток В, рис. В.52) [221], «Carhartt» (Додаток В, рис. В.72) [188], «Sundance» (Додаток В, рис. В.64) [177] та у виробках із системою охолодження компанії «HeiQ» (Додаток В, рис. В.80) [151];

- *інтеграція технічних компонентів у структуру текстильних матеріалів*, що не змінює зовнішній вигляд, у сучасних розробках це досягається використанням технологій компанії «ETH Zurich» з вплетенням мікроскопічних скляних волокон у тканину (Додаток В, рис. В.92) [194], а також на прикладі смартрукавички компанії «AI SILK Corporation», виготовленої з інноваційного струмопровідного текстилю (Додаток В, рис. В.62) [176];
- *нанесення технічних компонентів на зовнішню поверхню виробу*, що є частиною естетичного задуму, наприклад, у смартфутболці Технічного дослідницького центру VTT (Додаток В, рис. В.65) емнісні електроди надруковані на тканині [198], тоді як у смартфутболці Імперського коледжу Лондона (Додаток В, рис. В.61) [88], у жилеті компанії «Tactus» (Додаток В, рис. В.66) [335] та в технології Університету штату Північна Кароліна (Додаток В, рис. В.63) [227] пропонуються варіанти вишивки провідними нитками на зовнішньому шарі виробу;
- *прихована інтеграція технічних компонентів у шви виробів без впливу на їх зовнішній вигляд*, зокрема, у розробці Університетів Бата та Брістоля застосовано оверлочні шви з провідними нитками, через які подається напруга (Додаток В, рис. В.79) [105], в технології SeamPose Університету Корнелла (Додаток В, рис. В.84) також використовуються струмопровідні шви, виготовлені з ізольованого посрібленого нейлону [146];
- *розташування технічних компонентів у зонах*, що є естетично доцільними, як у смартфутболці YouCare компанії «ZTE Corporation» (Додаток В, рис. В.47) [336], у смартмайці компанії «AccYouRate» (Додаток В, рис. В.71) [254] мініатюрні знімні модулі розташовані збоку під грудьми, куртці

- бренду «Ralph Lauren» (Додаток В, рис. В.54), де компактний охолоджувальний модуль розташований у верхній частині спинки [189];
- *застосування технологічних рішень*, які є складовою художнього рішення та формують дизайн виробу, наприклад, в інтерактивній сукні Project Primrose компанії «Adobe Research» (Додаток В, рис. В.73, В.74) PDLC-пелюстки виступають як елементи художнього оформлення [66, 159], а в 4D-трикотажній сукні Массачусетського технологічного інституту (Додаток В, рис. В.86) [69] технологія, що дозволяє змінювати силует під впливом тепла надає візуальної виразності виробу.

Критерій 4. Урахування ергономічної та функціональної доцільності виробів. Крій виробу повинен відповідати анатомічним особливостям тіла та забезпечувати комфорт, зручність і свободу рухів. Матеріали мають витримувати розтягнення, згинання та багаторазові навантаження.

У сучасних розробках відповідність критерію ергономічно-функціональної доцільності досягається завдяки таким рішенням:

- *використання гнучких матеріалів*, здатних витримувати розтягнення, згинання та багаторазові навантаження, а також забезпечувати свободу рухів, прикладом є технологія Університету Пердью (Додаток В, рис. В.49 – а, б), що забезпечує роботу одягу без батарей завдяки передачі енергії від Wi-Fi та радіохвиль через гнучку шовкову котушку, інтегровану в текстиль [132], смартштани Федерального університету Еспіріту-Санту (Додаток В, рис. В.68), уздовж яких вплетені дві полімерні оптичні нитки для спостереження за рухами тіла [78], а також футболка компанії «ETH Zurich» (Додаток В, рис. В.70) з вплетеними мікроскопічними скляними волокнами, які проводять акустичні хвилі [121];
- *крій, що анатомічно відповідає фігурі* та забезпечує свободу рухів, у костюмі з підігрівом бренду «H.E.A.T.» (Додаток В, рис. В.53) [145], у смартбілизні Skiin Underwear компанії «Myant» (Додаток В, рис. В.48) [281], у смартмайці компанії «AccYouRate» (Додаток В, рис. В.71) [254].

Критерій 5. Забезпечення технологічної та функціональної відповідності виробу. Технічні компоненти повинні зберігати безпечність і функціональність у різних умовах використання; бути сертифіковані, безпечні для шкіри та здоров'я користувача, а також забезпечувати захист даних від втраті або несанкціонованому доступу.

У сучасних розробках відповідність даному критерію досягається завдяки таким рішенням:

- *забезпечення стабільності роботи технічних компонентів* під впливом експлуатаційних факторів, таких як тертя, розтягування та інші механічні навантаження, а також під час процедур догляду за виробом (прання, хімчистка, сушіння та волого-теплова обробка) спостерігається у виробках з технологією Університету Пердью (Додаток В, рис. В.49 – а, б), що забезпечує функціонування одягу без батарей [132], технологією Університету Юти (Додаток В, рис. В.51) для вимірювання електричних імпульсів м'язової активності [238], технологією Університету штату Північна Кароліна (Додаток В, рис. В.63) [227] для генерування енергії, а також у смартфутболці Імперського коледжу Лондона (Додаток В, рис. В.75) для реєстрації даних серцевого ритму та концентрації аміаку [246];
- *використання захищених проксі-серверів*, що не допускають несанкціонованого доступу та перехоплення інформації, забезпечуючи конфіденційність, цілісність та безпеку даних користувача під час обміну інформацією між виробом і зовнішніми системами, такі рішення застосовуються у більшості смартвиробів із бездротовою передачею даних, для прикладу, у смартмайці компанії «AccYouRate» (Додаток В, рис. В.71) [254], у смартфутболці SmartTex для астронавтів (Додаток В, рис. В.57) [149], смартбілизні Skiin Underwear компанії «Myant» (Додаток В, рис. В.48) [281] тощо;

Критерій 6. Відповідність технологічних особливостей виробу ергономічним характеристикам. Датчики, модулі, батареї та інші технічні

компоненти мають розташовуватися відповідно до анатомічної будови тіла, не створювати точок тиску, ризику опіків або подразнень, їх використання повинно бути інтуїтивним та зрозумілим.

Прикладами рішень, що забезпечують відповідність технологічних та ергономічних характеристик, є:

- *інтуїтивне розміщення елементів* управління виробом, як у одязі з підігрівом компаній «Ororo Heated Apparel» (Додаток В, рис. В.52) [221], «Carhartt» (Додаток В, рис. В.72) [188], «Н.Е.А.Т.» (Додаток В, рис. В.53) [145] та «Sundance» (Додаток В, рис. В.64) [177], де кнопки регулювання температури розташовані переважно в зоні грудей або на рукаві, що забезпечує зручний та швидкий доступ до керування;
- *проектування технічних елементів із врахуванням анатомічних особливостей тіла користувача* простежується у виробках компанії «Myovolt» (Додаток В, рис. В.50), які спеціально спроектовані для спини, плечей, рук та ніг для контролю м'язової активності та навантаження [124];
- *використання гнучких матеріалів*, що забезпечують комфорт експлуатації та мінімізують ризик травмування, прикладами такого підходу є технологія Університету Пердью (Додаток В, рис. В.49 – а, б), яка забезпечує роботу одягу без батарей завдяки передачі енергії від Wi-Fi та радіохвиль через гнучку шовкову котушку, інтегровану в текстиль [132], смартштани Федерального університету Еспіріту-Санту (Додаток В, рис. В.68), уздовж яких вплетені дві полімерні оптичні нитки для спостереження за рухами тіла [78], а також футболка компанії «ETH Zurich» (Додаток В, рис. В.70) з вплетеними мікроскопічними скляними волокнами, які проводять акустичні хвилі [121].

Таким чином, враховуючи особливості дизайн-проектування виробів зі смарттехнологіями, сформовано шість основних критеріїв для оцінки їх якості та відповідності комплексному підходу, який охоплює естетичні, функціональні, ергономічні та технологічні аспекти. Відповідно до проведеного аналізу

сучасних розробок виокремлено рішення, які застосовують дизайнери для створення високоякісних виробів. До таких рішень належать обґрунтований підбір кольорових рішень із урахуванням сезону, умов використання та психологічного впливу на користувача; використання принтів і конструктивних елементів для підвищення естетичної привабливості виробу; проектування анатомічно адаптованого крою та застосування безшовних і гнучких матеріалів для забезпечення свободи рухів і комфорту користувача; інтеграція електронних компонентів у структуру текстильних матеріалів, внутрішні шари або шви виробу, а також їх розміщення на зовнішньому шарі як частини дизайнерського задуму; використання гнучких матеріалів, стійких до розтягнення, згинання та багаторазових навантажень; забезпечення стабільної роботи технічних компонентів під час експлуатації та догляду за виробом; а також інтуїтивне розташування елементів управління з урахуванням анатомічних особливостей користувача тощо. Отже, сформовані критерії дозволяють комплексно оцінювати якість, ефективність і доцільність сучасних смартвиробів, а проаналізовані приклади дизайнерських рішень створюють теоретико-практичну основу для розробки, проектування та вдосконалення майбутніх інноваційних розробок у сфері смарттехнологій.

3.3 Сучасні підходи та напрями щодо реалізації сталого розвитку смартодягу

Зростання впливу людської діяльності на довкілля та усвідомлення обмеженості природних ресурсів зумовили появу концепції сталого розвитку. Визнане визначення сталого розвитку було запропоновано у доповіді, опублікованій Комісією Брундтланд [327] в 1987 році: «Сталий розвиток – це спосіб розвитку, який задовольняє потреби сучасного покоління, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби». Як нова концепція та стратегія, сталий розвиток широко охоплює всі сфери життя, унаслідок чого кожна галузь формує власне тлумачення цього поняття

відповідно до специфіки своєї діяльності. В індустрії моди організація «Green Strategy» визначає сталий розвиток як виробництво, продаж та носіння одягу, взуття та аксесуарів сталим способом, враховуючи екологічний та соціально-економічний вплив під час цих процесів [323].

На сучасному етапі розвитку індустрії моди загострюються проблеми надмірного виробництва та інтенсивного використання ресурсів, що призводить до зростання обсягів текстильних відходів і посилення негативного впливу на довкілля. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває впровадження принципів сталого розвитку, спрямованих на раціоналізацію ресурсоспоживання, зниження екологічного навантаження та підвищення рівня соціальної й економічної відповідальності [203].

Смартодяг, як інноваційний напрям розвитку модної індустрії, також потребує адаптації принципів сталого розвитку з урахуванням власної специфіки [343]. На відміну від традиційного одягу, смартвироби поєднують текстильні матеріали з електронними та цифровими компонентами, що суттєво ускладнює процеси проектування, виробництва та утилізації. Така багатокомпонентність спричиняє підвищення екологічних ризиків, а саме збільшення викидів парникових газів, забруднення водних ресурсів унаслідок обробки матеріалів і накопичення токсичних речовин, включаючи важкі метали, які можуть негативно впливати на стан ґрунтів [139]. Додатковим стримувальним чинником є недостатній рівень обізнаності споживачів щодо принципів відповідального використання та утилізації смартодягу, що ускладнює впровадження моделей сталого споживання [110]. Окрім цього, технологічна недосконалість окремих рішень, швидке технологічне старіння електронних компонентів і обмежений термін експлуатації виробів призводять до скорочення тривалості їх використання, зростання ресурсного навантаження та пришвидшене накопичення відходів [86].

Сталий розвиток у текстильній та модній індустрії забезпечується нормативним регулюванням, яке визначає орієнтири для дизайнерів і допомагає поєднувати творчі підходи з вимогами екологічної безпеки та

ресурсоефективності. В Україні ці підходи перебувають на етапі адаптації до європейських вимог і наразі базуються здебільшого на загальних екологічних та ресурсоефективних принципах, тоді як більш детальні стандарти розробляються Європейським Союзом у межах комплексної нормативної бази, спрямованої на підвищення екологічної ефективності та циркулярності текстильного сектору.

У Європейському Союзі екологічні вимоги до текстильних виробів визначає Регламент про екодизайн для сталих продуктів (Ecodesign for Sustainable Products Regulation, ESPR) [119], ухвалений у 2024 році, який встановлює обов'язкові вимоги до довговічності, ремонтпридатності, перероблюваності виробів, заборони знищення непроданого одягу та впровадження цифрових паспортів продукції (Digital Product Passports, DPP). Додатково з 2022 року діє Стратегія для сталого та циркулярного текстилю ЄС (EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles), спрямована на збільшення використання перероблених матеріалів, зниження токсичності та запровадження розширеної відповідальності виробника (Extended Producer Responsibility, EPR) [240]. Ці підходи поширюються і на смартодяг через те, що спеціалізованих міжнародних стандартів для таких виробів наразі не існує.

Окремі галузеві організації розробляють додаткові технічні норми, зокрема, IPC [109] створює стандарти для якості та надійності електронного текстилю, а Міжнародна асоціація промислових тканин (Industrial Fabrics Association International, IFAI) [165] пропонує концептуальну систему оцінювання екологічності текстилю – Стандарти сталого розвитку продукції SMaRT (SMaRT Sustainable Product Standards) [274]. Проте ці ініціативи мають переважно рекомендаційний характер і ще не набули широкого впровадження у промисловості.

Сталий розвиток у текстильній та модній індустрії в сучасних наукових дослідженнях [90, 343] розглядається як багатовимірна концепція, що ґрунтується на взаємодії трьох ключових складових: екологічної, економічної та соціальної, відомих як принцип «triple bottom line». Екологічний аспект орієнтований на збереження довкілля через зменшення негативного впливу

текстильного виробництва, скорочення викидів, раціональне використання природних ресурсів і мінімізацію відходів у межах повного життєвого циклу виробу. Економічна складова передбачає забезпечення ефективності виробничих процесів, ресурсної доцільності, довговічності продукції та її конкурентоспроможності на ринку. Соціальний аспект охоплює питання добробуту та справедливості, зокрема дотримання етичних норм виробництва, безпечних умов праці та формування відповідальної споживчої поведінки.

У межах дизайн-проєктування одягу одним із ключових підходів до реалізації принципів сталого розвитку є *екодизайн*, який визначається як «інтеграція екологічних аспектів у дизайн та розробку продукту з метою зменшення негативного впливу на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу продукту» [10]. Сутність екодизайну полягає у врахуванні потенційного впливу виробу на довкілля ще на стадії концептуального проєктування через обґрунтований вибір матеріалів, технологій виготовлення та способів інтеграції електронних компонентів у структуру виробу тощо. Важливою складовою екодизайну є орієнтація на принципи циркулярності, що передбачають замкнені процеси використання матеріалів, можливість ремонту, модернізації та повторного використання виробів [264]. Тобто екодизайн спрямований не лише на зменшення негативного впливу на довкілля, а також на створення продукції, що є безпечною, довговічною та придатною до багаторазового циклічного використання [119].

Для смартодягу екодизайн набуває особливого значення, оскільки потребує поєднання екологічних вимог з високим рівнем технологічності таких виробів. З огляду на особливості екодизайну доцільно розглянути *життєвий цикл смартодягу*, який поділяють на шість окремих фаз [143, 144, 218, 255]: *виготовлення сировини, створення дизайну продукту, виробництво, дистрибуція, експлуатація, утилізація*.

Фаза виготовлення сировини передбачає відбір, добування та створення текстильних матеріалів і електронних компонентів, що формують основу майбутнього смартвиробу. Під час виготовлення електронних компонентів

широко використовуються матеріали, такі як чорні та кольорові метали, кераміка, полімери, друковані плати та інші, що негативно впливають на стан навколишнього середовища. Додатковий екологічний тиск створюють процеси їх переробки та обробки, зокрема лазерне різання, електрозварювання, гальванізація тощо [203]. Тому на цій фазі важливим є обґрунтований вибір методів добування й виробництва текстильних матеріалів і електронних компонентів, а також їх подальшого використання у виробі з урахуванням екологічної безпеки.

Створення дизайну продукту визначає ключові характеристики смартвиробу та закладає основу їх подальшого впливу на всі наступні фази життєвого циклу. Дизайн продукту охоплює процеси розробки концепції, вибору текстильних матеріалів і електронних компонентів, проектування конструкції виробу та способів інтеграції електроніки у текстильну структуру, а також створення прототипів виробу. Особлива увага приділяється забезпеченню відповідності функціональним, ергономічним та естетичним вимогам, збереженню комфорту та зручності користування при одночасному досягненні технологічної надійності [264]. З позицій сталого розвитку саме на цьому етапі доцільно впроваджувати принципи екодизайну, що передбачають використання екологічно безпечних, відновлюваних або перероблюваних матеріалів, мінімізацію енергоспоживання та ресурсомісткості, проектування довговічних виробів, а також забезпечення їх ремонтпридатності, модульності та можливості розбирання для подальшої утилізації чи повторного використання компонентів [343].

Фаза виробництва включає реалізацію проєктних рішень через виготовлення виробу. У смартодязі важливим є поєднання традиційних текстильних технологій (розкрій, шиття, обробка тощо) з процесами складання та інтеграції електроніки, що передбачають монтаж датчиків, провідних елементів, мікроконтролерів і джерел живлення у структуру виробу [137]. У контексті сталого розвитку фаза виробництва смартодягу включає оптимізацію ресурсів, зменшення відходів і підвищення енергоефективності завдяки

впровадженню цифрових технологій, як 3D-моделювання та віртуального прототипування, що дозволяють скоротити кількість фізичних зразків [287, 231]. Важливу роль відіграє використання штучного інтелекту для оптимізації процесів і зниження дефектності, а також застосування безвідходних методів створення лекал і розкрою, що забезпечують раціональне використання матеріалів [98, 138, 143]. Водночас необхідним є контроль якості, який охоплює як текстильні характеристики виробу, так і надійність і безпечність електронних компонентів [231].

Фаза дистрибуції смартодягу охоплює процеси транспортування, зберігання, реалізації та доставки готового виробу до кінцевого споживача. Ще на стадії дизайну доцільно закладати рішення, що полегшують логістику, зокрема передбачати знімність або модульність електронних компонентів виробу для безпечного пакування і транспортування. Оскільки смартодяг зазвичай виробляється у малих серіях, його логістика має бути адаптивною, енергоефективною та цифровізованою. Для досягнення сталості на цьому етапі важливо впроваджувати регіоналізацію дистрибуції та оптимізацію транспортних маршрутів [343], використовувати цифрові логістичні системи (GPS, GIS, великі дані), застосовувати екологічну упаковку та принципи «зеленої логістики» [163], а також забезпечувати екологічне маркування і дотримання стандартів сталості [127].

У процесі *експлуатації* смартодягу відбувається перевірка якості дизайн-рішень у реальних умовах його активного використання, що дозволяє визначити тривалість служби виробу, ефективність функціонування інтегрованих електронних компонентів і рівень впливу на утворення відходів [143, 266]. Подовження життєвого циклу виробу досягається через чітке визначення терміну служби виробу та контроль компонентів, що дозволяє планувати технічне обслуговування та переробку, впровадження інноваційних бізнес-моделей (оренда, ремонт, програми повернення), а також формування відповідальної поведінки користувачів шляхом інформування про правила догляду, прання та зберігання [251, 266].

Фаза утилізації смартодягу є завершальним етапом життєвого циклу та визначає рівень екологічного впливу виробу після його використання, оскільки поєднання текстильних і електронних компонентів формує новий виклик у вигляді електронних відходів (e-waste) [192]. Наявність у складі смартодягу датчиків, батарей, мікроконтролерів та інших елементів, що містять потенційно токсичні речовини, зумовлює необхідність контрольованого демонтажу, сортування та спеціалізованої переробки для запобігання забрудненню довкілля [201, 288]. Ефективність утилізації залежить від способу інтеграції електроніки в текстиль, що впливає на складність розбирання виробу та можливості повторного використання матеріалів [206]. У межах сталого підходу застосовуються стратегії збору та сортування виробів, механічної і хімічної переробки текстилю, а також відокремлення і повторного використання електронних компонентів, що дозволяє зменшити обсяги відходів і зберегти цінні ресурси [163, 266]. Додатково використання цифрових ідентифікаторів сприяє оптимізації процесів утилізації, підвищенню ефективності управління відходами та впровадженню принципів циркулярної економіки у сфері смартодягу [163].

Узагальнена інформація щодо життєвого циклу смартодягу, його впливу на навколишнє середовище та сучасні рішення для сталого розвитку надано в Додатку Е, табл. Е.4.

Реалізація підходу екодизайну в процесі розробки смартодягу ґрунтується на впровадженні системи взаємопов'язаних напрямів, спрямованих на зниження екологічного навантаження на всіх етапах життєвого циклу виробу. Вихідним і визначальним напрямом у цьому процесі є *обґрунтований вибір текстильних матеріалів та електронних компонентів*, який формує екологічний потенціал виробу та визначає можливості його подальшої експлуатації й утилізації.

У сучасній практиці дизайну простежується орієнтація на *використання екологічних текстильних матеріалів*, які характеризуються біорозкладністю, можливістю перероблення або повторного використання [163].

Самовідновлювальний текстиль розглядається як інноваційний матеріал, що забезпечує відновлення структури та функціональних властивостей після механічних пошкоджень. Використання таких матеріалів має визначальний вплив на етап експлуатації смартодягу, оскільки здатність до самовідновлення зменшує рівень пошкоджень у процесі використання, забезпечує стабільність функціонування виробу та подовжує термін служби, що, у свою чергу, знижує потребу у його заміні.

Прикладом є розробка науковцями у грудні 2024 року *текстилю TPU/PTUEG₃* (Додаток Г, рис. Г.1), отриманого методом електропрядіння, який демонструє здатність до багаторазового самовідновлення при кімнатній температурі під дією зовнішніх навантажень. Механізм відновлення зумовлений наявністю динамічних водневих зв'язків у полімерній структурі, що забезпечують відновлення цілісності матеріалу без втрати його гнучкості та механічних властивостей [210].

Розвиток самовідновлювальних текстильних матеріалів підтверджується також дослідженням 2025 року, у межах якого розроблено *матеріал із покриттям* на основі поверхнево-модифікованих наночастинок кремнезему та полімерного іонного гелю (Додаток Г, рис. Г.2). Така структура забезпечує швидке та багаторазове самовідновлення, навіть у водному середовищі, при збереженні пористості матеріалу, його повітропроникності та здатності до відштовхування рідин [307].

Інтеграція живих біологічних компонентів у структуру волокон, пряжі або поверхневі шари матеріалу є ще одним перспективним напрямом розвитку самовідновлювальних текстильних матеріалів, що забезпечує відновлення його цілісності на мікрорівні. Функціонування таких матеріалів базується на внутрішній біологічній активності живих організмів, що дозволяє створювати адаптивний смартодяг, здатний реагувати на зміни зовнішнього середовища без застосування складних технічних рішень [184]. Їх використання підвищує ефективність експлуатації смартодягу, забезпечуючи подовження терміну

служби виробу, а також створює передумови для спрощення процесів розкладання матеріалу на завершальній стадії життєвого циклу.

Наприклад, *використання бактерій* *Bacillus subtilis* та *Escherichia coli* (Додаток Г, рис. Г.3) у текстилі дає змогу реалізувати механізм самовідновлення волокон шляхом синтезу білкових сполук у відповідь на пошкодження [93]. У разі пошкодження матеріалу активуються біологічні процеси, внаслідок яких клітини синтезують нові білкові структури, що заповнюють мікротріщини та відновлюють цілісність волокон. У деяких біоінженерних системах бактерії можуть бути генетично запрограмовані на продукування білкових фібрил у відповідь на механічне руйнування, що забезпечує автономне відновлення текстильної структури.

Застосування матеріалів на основі *міцелію грибів* (Додаток Г, рис. Г.4) розглядаються як біорозкладна альтернатива традиційній шкірі. Такі матеріали демонструють здатність до самовідновлення мікроструктури після механічних пошкоджень завдяки росту та з'єднанню гіф, а також вологочутливість і адаптивність до змін середовища, що розширює можливості їх застосування у проектуванні смартодягу [284].

Також інтеграція у текстильні структури *мікрowodоростей*, зокрема *Chlorella vulgaris* та *Spirulina* (Додаток Г, рис. Г.5) дозволяє використовувати фотосинтетичну активність цих організмів, їх здатність поглинати CO₂, виробляти кисень та накопичувати біомасу і природні пігменти. При цьому волокна з мікрowodоростями здатні частково відновлювати структурну цілісність після фізичних пошкоджень завдяки живій біомасі та росту клітин [84].

До ще одного прикладу самовідновлювального матеріалу належить *біоплівки*, що формуються мікробними колоніями на поверхні текстильних матеріалів, забезпечуючи модифікацію їх експлуатаційних властивостей (Додаток Г, рис. Г.6). Такі структури сприяють самоочищенню поверхні та відновленню механічної стабільності матеріалу завдяки формуванню захисного живого шару, який заповнює мікротріщини та пошкодження [263].

Вибір біосумісного та біорозкладного текстилю на основі біополімерів для розробки смартодягу забезпечує підвищення екологічної безпечності та довговічності виробу. Такий текстиль отримують з відновлюваних ресурсів, здебільшого рослинного походження, таких як цукрова тростина, касава або кукурудза. До основних біорозкладних біопластиків належать полімолочна кислота (PLA), отримана з крохмалю, полігидроксиалканоати (PHA), полігидроксибутират (PHB), синтезований мікроорганізмами, та полібутиленсукцинат (PBS) [115]. Екологічний процес добування біосумісного та біорозкладного текстилю та його біосумісність з іншими природними волокнами забезпечують раціональне використання ресурсів, а також здатність до біорозкладу сприяє спрощенню процесів утилізації після завершення експлуатації виробу.

Прикладом практичного застосування таких матеріалів є розробка 2022 року компанією «HighChem» (Японія) біорозкладної футболки (Додаток Г, рис. Г.7), створеної шляхом змішування PLA з іншими природними волокнами – бавовною та тенселом. Важливою особливістю розробки є її орієнтація на повний життєвий цикл виробу: PLA є біополімером, що характеризується вуглецевою нейтральністю, оскільки сировина для його виробництва поглинає CO₂ у процесі росту рослин, а рівень викидів під час виробництва є значно нижчим порівняно з традиційними синтетичними волокнами. Ключовою перевагою матеріалу є його здатність до швидкого біорозкладу: за умов промислового компостування (температура близько 68°C і вологість ~50%) виріб повністю розкладається протягом приблизно шести днів [136].

Інтеграція смарттехнологій у одяг із одночасним дотриманням екологічних принципів привертає значну увагу до концепції *смарт, носимого та екологічно чистого електронного текстилю (Smart, Wearable, and Eco-friendly Electronic Textiles, SWEET)*. Основою даного матеріалу є біорозкладний текстиль Tencel, виготовлений із відновлюваної деревини, який характеризується високою повітропроникністю, м'якістю та комфортом при носінні. Активні електронні компоненти цього текстильного матеріалу створені із графену та провідного

полімеру PEDOT:PSS, які наносяться на поверхню методом прецизійного струменевого друку. Такий підхід забезпечує високу якість провідних шляхів при мінімальних витратах матеріалів і енергії та без утворення значних виробничих відходів [117]. Використання SWEET-текстилю зменшує ресурсо- та енергоємність виробництва завдяки адитивним технологіям нанесення електроніки, підвищує комфорт і безпечність виробу під час експлуатації та знижує потребу у частому пранні, а також забезпечує біорозкладання матеріалів на етапі утилізації.

У грудні 2024 року SWEET-текстиль протестовано дослідницькими групами університетів Великої Британії як носимий матеріал для безперервного моніторингу фізіологічних показників. Зразки, прикріплені до рукавичок, дозволяли надійно вимірювати частоту серцевих скорочень та температуру шкіри в реальних умовах експлуатації (Додаток Г, рис. Г.8). Оцінка біорозкладності показала, що протягом приблизно чотирьох місяців після закладання у ґрунт SWEET-текстиль втрачає близько 48 % маси та 98 % механічної міцності, що свідчить про його здатність до розкладання без тривалого накопичення відходів електроніки та текстилю [293].

Мікроінкапсульований смарттекстиль з мікрокапсулами природного походження є ще одним екологічним текстильним матеріалом, що функціонує на основі контрольованого вивільнення активних речовин, що реагують на зовнішні стимули (теплові зміни, тертя, показник рН та ін.) [253]. Його використання у смартодязі сприяє подовженню терміну служби виробу під час експлуатації завдяки раціональному дозуванню активних компонентів і зменшенню їх надлишкового використання, а застосування природних складових у мікрокапсулах забезпечує більш екологічне розкладання виробу на етапі утилізації.

Прикладом є створений у грудні 2023 року *pH-чутливий смарттекстиль* на основі бавовни, на поверхню якого нанесено напівпористі мікрокапсули з куркуміном методом міжфазної полімеризації (Додаток Г, рис. Г.9). Куркумін, як природний барвник рослинного походження, є нетоксичним і біорозкладним

компонентом, що підвищує екологічність матеріалу. Мікрокапсули змінюють хімічну форму куркуміну залежно від рівня рН середовища, що спричиняє зміну кольору тканини при контакті з різними значеннями кислотності. Такий матеріал має високий потенціал для інтеграції у смартодяг, дозволяючи відстежувати стан шкіри користувача та параметри навколишнього середовища завдяки реакції мікрокапсул на зовнішні подразник [253].

Таким чином, до основних екологічних текстильних матеріалів можна віднести:

- самовідновлювальний текстиль;
- самовідновлювальний текстиль з інтеграцією живих біологічних компонентів;
- біосумісний та біорозкладний текстиль на основі біополімерів;
- текстиль SWEET;
- мікроінкапсульований смарттекстиль з мікрокапсулами природного походження тощо.

Окрім використання екологічно безпечних текстильних матеріалів, важливими є підходи в сталому розвитку *електронних компонентів смартодягу*, які зазвичай спричиняють значне забруднення довкілля та є складними для переробки. Більше того, традиційні електронні компоненти характеризуються громіздкістю, жорсткістю та обмеженою придатністю до догляду, що суттєво скорочує життєвий цикл смартодягу [163].

Гнучкі технології є одним із напрямів сталого розвитку електронних компонентів смартодягу, оскільки забезпечують їх здатність до деформації, розтягування та адаптації до рухів тіла користувача без втрати функціональних властивостей. Зменшення вмісту металу в матеріалах підвищує відновлюваність і біорозкладність електроніки, а застосування захисних покриттів та обробок знижує випромінювання, підвищує зносостійкість і продовжує термін служби смартодягу [163].

Особливе значення для сталого розвитку смартодягу мають дослідження у сфері *гнучких систем автономного енергозабезпечення*, здатних генерувати та накопичувати енергію під час експлуатації виробу. До основних технологій належать трибоелектричні та п'єзоелектричні наногенератори, які перетворюють механічну енергію рухів тіла у електричну, а також термоелектричні системи, що використовують різницю температур між тілом людини та навколишнім середовищем (Додаток Г, рис. Г.10). Такі рішення дозволяють частково зменшити залежність від традиційних джерел живлення (батареї), які є одними з основних джерел забруднення навколишнього середовища [108].

Біорозкладні електронні компоненти в смартодязі представляють собою інноваційний напрям, що забезпечує здатність електроніки до природного розкладання після використання. Прикладом є біобатарея (Додаток Г, рис. Г.11), у якій поєднується легкий паперовий субстрат із спеціальними полімерними сполуками, які сприяють здатності до біорозкладу. У лабораторних умовах дослідники протестували деградацію такої біобатареї у водному середовищі та встановили, що вона розкладається без використання спеціальних установок, особливих умов або введення додаткових мікроорганізмів, що підтверджує її екологічну доцільність як компонента для сталих носимих систем електроніки [259].

Деякі науковці також розглядають *використання природних біомолекул* як функціональних складових батарей. Зокрема, меланін – природний пігмент, що міститься в чорнилі каракатиці та схожих морських організмах, може виконувати роль анода у натрієво-іонних батареях завдяки здатності взаємодіяти з іонами натрію, що сприяє накопиченню електричного заряду та підвищує екологічну безпечність енергетичних елементів. Також застосовуються інші природні компоненти в конструкціях батарей, такі як кверцетин і рибофлавін (Додаток Г, рис. Г.12). Їх використання дозволяє створювати енергетичні елементи з меншим вмістом токсичних металів, що є важливим для мінімізації екологічного навантаження і підвищення біорозкладності цих компонентів [199].

Прикладом альтернативного підходу до реалізації функціональності смартодягу без застосування традиційної електроніки є використання в текстильних матеріалах гігроморфних біоактуаторів *Bacillus subtilis natto* – живих клітин, що реагують на зміни вологості навколишнього середовища, змінюючи свою форму чи розмір у відповідь на вологість (Додаток Г, рис. Г.13). Такий ефект забезпечує адаптивні функціональні трансформації матеріалу, а також відкриває перспективи для створення компонентів, що поєднують реактивність і здатність до природної деградації завдяки використанню живих організмів [332].

У дрібносерійному виробництві, а також у дослідницькій та дизайнерській діяльності доцільно заохочувати *відновлення й повторне використання електронних компонентів*, зокрема батарей і датчиків, демонтованих із використаного смартодягу. Це сприяє скороченню потреби у первинних ресурсах, зменшенню обсягів електронних відходів та відповідає принципам циркулярності.

У жовтні 2024 року науковці запропонували підхід до замкненого циклу переробки електронного текстилю, що передбачає повторне використання матеріалів із мінімізацією відходів. Для цього застосовується метод термопіролізу графеновмісних покриттів – нагрівання відпрацьованих графенових шарів до високої температури в умовах обмеженого доступу повітря, що перетворює їх на електропровідний порошок. Цей порошок можна повторно наносити на новий текстильний матеріал методом *rad-dry* (Додаток Г, рис. Г.14), зберігаючи при цьому електропровідність і його механічну гнучкість [116].

Відповідно до наданих прикладів на сьогодні можна виокремити такі напрями сталого розвитку електронних компонентів смартодягу:

- гнучкі технології;
- біорозкладні електронні компоненти;
- перероблення матеріалів та модернізація компонентів зі старих продуктів.

Сучасні підходи до екодизайну смартодягу передбачають розширення фокусу від вибору матеріалів до *дизайн-проектування виробу* як системи, що функціонує в межах циркулярності. Ключова роль дизайну полягає у подовженні життєвого циклу продукції шляхом забезпечення її довговічності, можливості ремонту, повторного використання та оновлення [264].

Модульна конструкція смартодягу в екодизайні розглядається як підхід до проектування, за якого виріб функціонує як гнучка система, де текстильна основа виступає платформою для підключення змінних функціональних модулів (датчиків, електронних блоків, джерел живлення та інших елементів). Сутність цього підходу полягає у здатності вільно з'єднувати, комбінувати та переміщувати модулі як у межах одного виробу, так і між різними предметами одягу відповідно до потреб користувача. У результаті формується відкрита та адаптивна система, у якій функціональність не є жорстко закріпленою за конкретним виробом, а може змінюватися, розширюватися та масштабуватися, забезпечуючи високий рівень персоналізації та варіативності використання [266, 287].

У межах життєвого циклу виробу модульна конструкція смартвиробів забезпечує компактніше пакування, полегшує логістику та зменшує ризик їх пошкодження під час перевезення. Під час експлуатації користувач отримує можливість адаптувати виріб відповідно до власних потреб, змінювати розташування функціональних елементів або переносити їх між різними виробами. На етапі утилізації модульна конструкція дозволяє легко відокремлювати електронні компоненти від текстилю, що спрощує їх повторне використання або перероблення.

Практичне застосування модульної конструкції в смартодязі запропоновано стартапом Funktion* (Німеччина), заснованим у 2020 році, та реалізується через інтеграцію у текстиль спеціальної провідникової структури Kontakt Grid, яка виконує роль інтерфейсу для підключення електронних компонентів (Додаток Г, рис. Г.15). У текстильний матеріал вбудовуються провідні доріжки, до яких за допомогою контактних з'єднань приєднуються

функціональні модулі: датчики, акумулятори тощо. Ці модулі не фіксуються постійно, а можуть встановлюватися у різних зонах виробу, змінювати своє розташування або переноситися на інший предмет одягу з аналогічною структурою. Підключення відбувається без складного монтажу, що дозволяє швидко додавати або змінювати функції виробу, комбінуючи модулі залежно від конкретного сценарію використання [122].

Сумісність і оновлюваність компонентів дозволяють замінювати або модернізувати окремі елементи смартодягу без порушення цілісності системи. Це досягається завдяки використанню стандартизованих інтерфейсів підключення, знімних електронних модулів, а також програмного забезпечення, що може оновлюватися відповідно до розвитку технологій. Під час проєктування смартодягу передбачається розробка конструктивних і технологічних рішень, що забезпечують доступність до компонентів, можливість їх демонтажу, повторного підключення та інтеграції нових технологій [266, 287].

Розглядаючи життєвий цикл смартвиробів, на етапі експлуатації сумісність і оновлюваність компонентів забезпечують подовження терміну служби смартодягу завдяки можливості заміни застарілих або несправних елементів новими. Тоді як оновлення програмного забезпечення та модернізація функціоналу відповідно до розвитку технологій дозволяють підтримувати актуальність виробу без необхідності фізичної заміни його компонентів.

Прикладом є пристрій *Astroskin* (Додаток Г, рис. Г.16) компанії «Hexoskin» (Канада), який містить знімні сенсорні модулі для моніторингу серцевого ритму, дихання та фізичної активності. Компоненти можна замінювати або оновлювати без необхідності заміни всієї футболки, що дозволяє підтримувати довготривалу працездатність виробу та інтегрувати нові технології у процесі експлуатації [76].

Кастомізація в екодизайні смартодягу розглядається як підхід, що передбачає індивідуалізацію виробу відповідно до фізіологічних, функціональних та поведінкових потреб користувача. Йдеться не тільки про естетичну варіативність, а насамперед про адаптацію конструкції, конфігурації

електронних компонентів, зон розміщення датчиків, способів взаємодії з тілом та сценаріїв використання смартвиробу [266, 287].

Кастомізація сприяє підвищенню цінності виробу для користувача, що є одним із ключових чинників подовження тривалості використання та зниження обсягів відходів. Також такий підхід сприяє переходу від масового виготовлення до моделей виробництва за запитом (on-demand) або дрібносерійного виготовлення, що дозволяє зменшити надлишкові запаси продукції.

Прикладом є розробка японських науковців, представлена в грудні 2024 року, електронного текстилю plug-n-play e-knit (Додаток Г, рис. Г.17), виготовленого на цифрових в'язальних машинах з провідної нитки для формування інтегрованої мережі живлення та зв'язку. Система використовує м'які магнітні роз'єми для перестановки електронних модулів без пошкодження текстильної основи та без перешивання виробу, надаючи користувачу можливість оптимізувати сенсорну мережу під конкретні завдання від відстеження рухів до моніторингу температури шкіри [204].

Беручи до уваги проаналізовані приклади, підходи у сталому розвитку дизайн-проектування смартодягу досягаються через:

- проектування модульної конструкції;
- забезпечення сумісності і оновлюваності компонентів;
- створення кастомізованих виробів.

Таким чином, обґрунтовано важливість застосування концепції сталого розвитку у процесі розробки смартодягу задля раціонального використання ресурсів, зменшення обсягів текстильних і електронних відходів, подовження життєвого циклу виробу та формування циркулярних моделей виробництва й споживання. Визначено екодизайн як один із основних підходів до забезпечення сталого розвитку смартвиробів, завдяки якому ще на стадії концептуального проектування закладаються комплексні рішення, що впливають на весь життєвий цикл виробу та сприяють зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Серед напрямів реалізації принципів екодизайну

виділено застосування екологічно орієнтованих матеріалів, таких як самовідновлювальний текстиль, самовідновлювальний текстиль з інтеграцією живих біологічних компонентів, біосумісний та біорозкладний текстиль на основі біополімерів, текстиль SWEET, а також мікроінкапсульований смарттекстиль з мікрокапсулами природного походження. Визначено напрями сталого розвитку електронних компонентів смартодягу, що спрямовані на зменшення електронних відходів, зокрема впровадження гнучких технологій, використання біорозкладних електронних компонентів та перероблення електронних матеріалів і модернізацію елементів зі старих продуктів. Встановлено, що застосування у дизайн-проектіванні смартодягу підходів, заснованих на модульності, сумісності й оновлюваності компонентів, а також кастомізації виробів, забезпечує підвищення адаптивності та ремонтпридатності продукції, що сприяє подовженню терміну її експлуатації. Викладені положення формують основу для впровадження у практичну діяльність ефективних дизайнерських рішень, спрямованих на оптимізацію життєвого циклу смартодягу та зменшення його негативного впливу на довкілля.

3.4 Перспективні напрями розвитку смарттехнологій у дизайні одягу

Спираючись на дані аналітичних та маркетингових звітів, можна стверджувати, що у найближчі 10 років використання смарттехнологій в дизайні одягу буде розширюватися. Це підтверджується звітом «Ринок смартодягу – Глобальний прогноз на 2025–2032 роки» («Smart Clothing Market – Global Forecast 2025–2032») [268], опублікованим на платформі Research And Markets у листопаді 2025 року, де вказано, що ринок смартодягу у 2024 році зріс з 11,79 млрд доларів США до 13,83 млрд доларів США у 2025 році. Очікується, що середньорічний темп зростання збільшиться до 18,24%, досягнувши 45,07 млрд доларів США до 2032 року. В іншому звіті «Розмір, частка та тенденції ринку електронного текстилю та смартодягу з 2025 по 2034 рік» («E-Textiles and

Smart Clothing Market Size, Share and Trends 2025 to 2034») [126], опублікованому на платформі Precedence Research в жовтні 2025 року, стверджується, що глобальний ринок електронного текстилю та смартодягу оцінюється в 22,08 млрд доларів США у 2025 році та, за прогнозами, зросте приблизно до 274,99 млрд доларів США до 2034 року зі середньорічним темпом зростання 32,34%.

Зростання інтересу до смарттехнологій у сфері дизайну одягу зумовлене їх значним інноваційним потенціалом та широкими можливостями застосування. До основних чинників, що впливають на розвиток смарттехнологій в дизайні одягу можна віднести [268, 270]:

- *розвиток технологічних інновацій* – сучасні досягнення у сфері електроніки, матеріалознавства та цифрових технологій розширюють можливості дизайн-проектування, формуючи нові підходи до удосконалення смартвиробів;
- *орієнтацію на індивідуалізацію та користувацький досвід* – використання даних про фізіологічні та поведінкові характеристики користувача сприяють формуванню адаптивних дизайнерських рішень, у яких поєднуються функціональність, комфорт і персоналізована взаємодія з виробом;
- *інтеграцію принципів сталого розвитку* – використання екологічних матеріалів, проектування довговічних, ремонтпридатних і оновлюваних виробів, а також орієнтація на циркулярні моделі визначають нові підходи до формування смартодягу як об'єкта дизайну;
- *міждисциплінарну співпрацю* – створення смартодягу передбачає синтез знань у сфері дизайну, матеріалознавства, електроніки та цифрових технологій, що зумовлює появу нових методів проектування, прототипування та тестування виробів.

На темпи та напрями розвитку смарттехнологій у дизайні одягу суттєвий вплив має регіональна специфіка, що проявляється у домінуванні окремих напрямів у різних регіонах. Це зумовлено тим, що кожен регіон характеризується

відмінностями у соціально-економічних, культурних, технологічних і нормативних умовах функціонування.

У країнах Європи в багатьох галузях, зокрема й у сфері смартодягу, діяльність регулюється нормативно-правовими та етичними вимогами, насамперед щодо захисту персональних даних і дотримання принципів сталого розвитку. Тому простежуються кілька основних напрямів розвитку смартвиробів: орієнтація на екодизайн і циркулярність, що передбачає використання екологічно доцільних матеріалів і можливість повторного використання електронних компонентів, забезпечення безпечної інтеграції електронних систем у текстильну структуру виробу, а також уніфікація конструктивних і технологічних рішень завдяки міждержавній співпраці та стандартизації. Під впливом демографічних змін, зокрема старіння населення, розвивається смартодягу в сфері охорони здоров'я, здатний здійснювати моніторинг частоти серцевих скорочень, артеріального тиску, частоти дихання та інших фізіологічних показників, що сприяє підвищенню якості догляду за людьми похилого віку [125, 269].

У Північній Америці поширені культура здорового способу життя та високий рівень сприйняття технологічних інновацій користувачами. Це зумовлює формування нових напрямів розвитку смартодягу у сфері спорту та фітнесу, орієнтованого на використання вбудованих датчиків для відстеження фізіологічних показників, рівня активності та загального стану організму без застосування додаткових пристроїв. Відповідно удосконалюються дизайн-рішення, що передбачають обґрунтоване розташування електронних компонентів, вибір способів їх інтеграції та забезпечення стабільності зчитування даних у процесі експлуатації. Важливим чинником розвитку смартвиробів в Північній Америці є також активне залучення науково-дослідних ресурсів університетів і технологічних кластерів задля швидкої розробки та тестування прототипів [125, 268, 269].

У країнах Близького Сходу значна частка інвестицій спрямовується у сферу безпеки та оборони, в тому числі і в індустрії моди. У зв'язку з цим

простежується розвиток смартодягу з підвищеними захисними властивостями, що обумовлює формування нових конструктивних рішень, використання міцних і зносостійких матеріалів, а також інтеграцію сенсорних систем для безперервного моніторингу фізіологічного стану користувача, що перебуває в умовах небезпеки. Паралельно розвивається напрям забезпечення автономності та енергоефективності електронних компонентів, а також підвищення їх стійкості до зовнішніх факторів, що має значний вплив на дизайн-рішення смартвиробів [125, 269].

Азіатсько-Тихоокеанський регіон характеризується поєднанням високого технологічного потенціалу та значних виробничих можливостей, що визначає розвиток дизайну смартодягу з орієнтацією на масштабованість, технологічність і варіативність конструктивних рішень. Додатковими чинниками є активна державна підтримка інновацій, зростання міського населення та підвищення уваги до здоров'я, що сприяє розробці смартодягу з розширеними функціональними характеристиками. У таких країнах, як Китай, Південна Корея та Японія, широко впроваджуються електронний текстиль, технології мініатюризації електронних компонентів та їх інтеграції у текстильну структуру виробу без порушення його естетичних і функціональних властивостей. Водночас у країнах Південно-Східної Азії спостерігається поєднання традиційних текстильних технік із сучасними цифровими технологіями, що зумовлює формування нових дизайнерських підходів у розробці смартвиробів [268, 269].

У Додатку Е таблиці Е.5 систематизовано інформацію про провідні компанії у сфері смарттехнологій у дизайні одягу за регіонами, що дозволяє наочно відобразити географічний розподіл лідерів ринку та їхні основні напрями діяльності [125, 268].

Слід зазначити, що майбутнє розвитку смартодягу визначатиметься посиленням міжнародної та міждисциплінарної співпраці, що сприятиме появі інноваційних рішень і технологічних проривів. Поєднання європейських підходів до екодизайну, циркулярності та нормативної відповідності з

північноамериканською орієнтацією на користувацький досвід і персоналізацію, а також технологічно-виробничим потенціалом Азіатсько-Тихоокеанського регіону забезпечує можливість масштабованого виробництва персоналізованого смартодягу з дотриманням екологічних вимог і принципів циркулярності [40, 170, 329]. Щодо міждисциплінарної співпраці вже сьогодні спостерігається розвиток смартодягу в межах розгалуженої системи взаємодії між різними галузями, у якій спортивні бренди впроваджують розробки аналітичних платформ для смартодягу з функціями моніторингу тренувань у режимі реального часу, модні дома та бренди співпрацюють із виробниками електроніки з метою інтеграції технологій у вироби високої моди, компанії у сфері охорони здоров'я взаємодіють із медичними установами для підтвердження клінічної надійності смартодягу та отримання регуляторних схвалень, що підвищує довіру споживачів, тоді як стартапи відіграють важливу роль у розвитку інновацій, розробляючи модульні сенсорні рішення та відкриті платформи для інтеграції зовнішніх програмних сервісів і технологій [187, 318, 339].

Смартодяг поступово формується як одна з найбільш інноваційних галузей сучасного дизайну. Саме тому актуальним стає визначення основних напрямів, які здатні трансформувати майбутнє смартодягу, підвищити його функціональність, комфорт, енергоефективність та екологічність.

Інтеграція штучного інтелекту в смартодяг є одним із найпоширеніших напрямів, який з кожним роком все більше розвивається. Як уже зазначалося раніше, AI перетворює дані, зібрані датчиками смартвиробів, на змістовні висновки та прогнозну аналітику, що додатково підтримується застосуванням алгоритмів машинного навчання й інших сучасних методів обробки даних. Така інтеграція сприяє персоналізованому спостереженню за станом здоров'я та створенню прогнозних моделей у медичних застосунках, а також підвищенню ефективності тренувального процесу у фітнесі, розширюючи можливості взаємодії користувача зі смарттехнологіями тощо [330].

Поєднання штучного інтелекту та інтеграції біометричних датчиків у структуру текстилю є одним із важливих нововведень, що забезпечує можливість

у режимі реального часу контролювати життєво важливі показники, такі як частота серцевих скорочень, дихання та температура тіла. Очікується, що наступним етапом еволюції стане впровадження біохімічних датчиків нового покоління, здатних визначати біомаркери, зокрема рівень глюкози, лактату чи кортизолу, дані з яких також аналізуватимуться системами штучного інтелекту. Завдяки цьому смартодяг набуває функцій інструменту безперервного неінвазивного моніторингу, що є особливо важливим для людей із хронічними захворюваннями (Додаток Г, рис. Г.18). Використання прогностичної аналітики штучного інтелекту сприяє виявленню потенційних ризиків і своєчасному реагуванню на зміни стану організму, зокрема у випадках, пов'язаних із можливими нападами астми чи аритмії, створюючи передумови для розвитку превентивних підходів у медицині [319].

Застосування штучного інтелекту поширюється і на адаптивний смартодяг, що автоматично реагує на зміни умов навколишнього середовища. Обробка даних, що надходять із вбудованих датчиків, дозволяє регулювати властивості одягу, такі як вентиляція, теплоізоляція або навіть компресія, для підвищення комфорту та продуктивності користувача. Прикладом є розробка дослідників з Хебейського професійного університету технологій та інженерії (Китай), представлена у квітні 2025 р., де інтелектуальний терморегулюючий одяг оснащений системою управління, яка автоматично підтримує температуру, наближену до заданого значення. Алгоритм AI аналізує показники датчиків і самостійно регулює нагрівання, щоб швидко та точно адаптуватися до змін навколишнього середовища та стану користувача, забезпечуючи оптимальний рівень тепла та комфорту [328].

Інтеграція штучного інтелекту в спортивний та фітнес-смартодяг відкриває перспективи розвитку персоналізованого та адаптивного контролю фізичної активності. Такі системи забезпечують збір даних про рухи та фізіологічні показники користувача в режимі реального часу, тоді як алгоритми машинного навчання здійснюють їх аналіз, оцінюють техніку виконання вправ і прогнозують ризики травм. У дослідженні, опублікованому у квітні 2025 року

науковцями Кембриджського університету (Велика Британія), розроблено протипротивний одяг із текстильними strain-датчиками на основі графену (Додаток Г, рис. Г.19). У поєднанні з алгоритмами AI забезпечується відстеження узгодженості дихання з рухами та рівномірності роботи м'язів під час виконання вправ. На основі отриманих даних здійснюється точне визначення якості виконання, формуються індивідуальні рекомендації та створюються можливості для коригування тренувального процесу з метою підвищення його ефективності й зниження ризику травм [297].

Тісно переплітається зі штучним інтелектом напрям *нейроінтерактивного смартодягу*. Завдяки інтеграції AI такий одяг здатний інтерпретувати біосигнали мозку та нервової системи, перетворюючи їх на керовані дії або адаптивні реакції одягу. Нейроінтерактивний смартодяг у майбутньому стане інтерфейсом між тілом та цифровим середовищем, він зможе розпізнавати емоційні стани, рівень концентрації, втому чи стрес і автоматично підлаштовувати терморегуляцію, жорсткість, підтримку м'язів або інші функції. У поєднанні з алгоритмами машинного навчання нейроінтерактивний смартодяг відкриває шлях до персоналізованих екзоскелетних систем, «розумної» реабілітації та більш природної взаємодії людини з технологіями.

Прикладом є концептуальне дослідження Ендрю Бернстайн (Andrew Burnstine) з Університету Лінна (США), опубліковане у серпні 2025 року, модель інтерактивного смартодягу The Sixth Sense Garment з елементами сенсорики та штучного інтелекту. Автор розглядає одяг як «додатковий орган чуття», здатний аналізувати фізіологію, емоційні стани та навколишнє середовище. Концепт виходить за рамки простого збору та аналітики даних, забезпечуючи втілену взаємодію в режимі реального часу, де зовнішній вигляд та відчуття від одягу не є заздалегідь визначеними, а виникають у результаті постійного контакту з фізіологічним станом та станом навколишнього середовища власника. Система розроблена для підтримки благополуччя власника та, як наслідок, для сприяння сталим поведінковим результатам [90].

Іншим значущим прикладом є носимі інтерфейси «мозок-комп'ютер» (brain-computer interfaces (BCIs)), наприклад сукні Screen Dress та Pangolin Scales Dress (Додаток Г, рис. Г.20), розроблені командою дослідників з Університету Йоганнеса Кеплера (Австрія), результати опубліковані у березні 2025 року. Ці прототипи використовують EEG-сигнали для зміни декоративних та структурних параметрів одягу в реальному часі. Одяг реагує на когнітивні стани (концентрацію, напруження чи релаксацію), що дозволяє формувати новий тип комунікації, де емоції та думки транслюються через візуальні та матеріальні реакції текстилю. Розробка закладає основу для інтерактивної моди, яка взаємодіє з користувачем на нейрофізіологічному рівні [257].

Напрямок екзоскелетів та робототехніки у смартодязі зосереджений на створенні м'яких та гнучких систем, здатних підсилювати фізичні можливості людини без обмеження природної рухливості. Текстильні актуатори, пневматичні або електроприводні елементи, роботизовані стрічки та композитні конструкції інтегруються у текстиль й формують легкі «м'які екзоскелети». Вони можуть зменшувати навантаження на м'язи та суглоби, підтримувати поставу, допомагати при підйомі ваги, стабілізувати рух або компенсувати втрату функцій у реабілітації [250].

У лютому 2023 року дослідники з Південно-Східного технологічного університету (Ірландія), Університету Небраски (США) та ін. представили м'який екзоскелет Dynamic Field Programmable Logic-Driven Soft Exosuit (Додаток Г, рис. Г.21), у якому в текстиль інтегровані модульні логічні блоки та датчики, що дозволяють екзокостюму динамічно змінювати функціональність залежно від рухів користувача; ця розробка демонструє можливість створення смартодягу, який може адаптуватися під різні вправи, сценарії реабілітації чи допомогу в повсякденних рухах, поєднуючи легкість, гнучкість та високий рівень персоналізації [104].

Ще одним прикладом прототипу м'якого роботизованого костюма для ніг є pfPAM-based Soft Wearable Robot (Додаток Г, рис. Г.22), представлений у травні 2024 року дослідниками з Тегеранського університету (Іран). У цій розробці

застосовано новітні «плеговані» пневматичні штучні м'язи (pfPAM), інтегровані у текстильну структуру. Легка конструкція роботизованого костюма без жорсткого каркаса (вагою близько 536 г) знижує навантаження на м'язи задньої частини стегна під час ходьби, у середньому на 7,4 % за цикл і до 22,7 % у пікові моменти. Це також дозволяє користувачу робити довші та частіші кроки порівняно з ходьбою без екзоскелета [80].

Напрямок «невидимої» електроніки передбачає інтеграцію електронних компонентів не на поверхню текстилю, а у структуру волокна на молекулярному або нанорівні. Нанопровідники, молекулярні транзистори, провідні полімери та оптичні нанопровідники дозволяють створювати волокна, які одночасно виступають і основою текстилю і повноцінними електронними компонентами. Такий підхід забезпечує повну невидимість та непомітність електроніки, не впливаючи на гнучкість, вагу, текстуру та інші властивості одягу. Розвиток цього напрямку відкриває шлях до появи революційних текстильних систем, у яких кожне волокно – це датчик, процесор або елемент зв'язку, інтегрований у матеріал на фундаментальному рівні [239].

Прикладом реалізації цього підходу є дослідження, опубліковане в березні 2025 року вченими з Шанхайського університету та Сучжоуського інституту нанотехнологій та нанобіоніки (Китай), у якому продемонстровано, що наноструктуровані провідні полімери можуть бути синтезовані у вигляді нанопровідників, нанопровідних ниток або нанопровідників з великою питомою поверхнею, високою гнучкістю та електропровідністю. Ці матеріали придатні для вбудовування у волокна текстилю для реалізації концепції «невидимої» електроніки, коли електронні функції інтегровані в структуру волокна, а не додані на поверхню текстилю [100].

У січні 2025 року науковці з Манчестерського університету (Велика Британія) у своїй роботі описали технології виробництва волокон з графену (wet spinning, electrospinning, dry spinning), які демонструють високу електропровідність, механічну міцність і гнучкість (Додаток Г, рис. Г.23). Такі «графенові волокна» можуть слугувати як датчики тиску, натягу, вологості,

елементи енергозберігання (суперконденсатори, гнучкі батареї), а також бути інтегрованими у текстильний матеріал звичайним методом ткацтва чи плетіння, забезпечуючи необтяжливу, комфортну, довговічну інтеграцію електроніки в смартодяг [341].

Енергоавтономний смартодяг спрямований на забезпечення самостійного живлення вбудованих електронних систем без потреби у зовнішніх батареях. У межах цього напряму розвиваються текстильні суперконденсатори, гнучкі батареї, фотоелектричні тканини, термоелектричні волокна, технології збору енергії з руху чи тепла тіла. Такі системи дозволяють одягу накопичувати і зберігати енергію, самостійно живлячи датчики, AI-модулі або модулі зв'язку. Розвиток енергетичної автономності відкриває можливість створення повністю незалежних смарттекстильних платформ, які не потребують частого заряджання, підвищуючи комфорт, мобільність і тривалість роботи одягу [108].

Перспективною концептуальною розробкою є створення гібридних наногенераторів на основі п'єзоелектрично-трибоелектричних волокон, які забезпечують ефективний збір енергії з механічних рухів тіла (Додаток Г, рис. Г.24). Така концепція запропонована науковцями з Китайської наукової академії (Китай) у липні 2019 року. Дослідження демонструють високі вихідні параметри таких волокон, що робить їх придатними для живлення біосенсорів та мікросистем моніторингу [114]. Однак складність масштабованого виробництва, зокрема низька однорідність волокон та обмежена швидкість текстильної інтеграції, залишається ключовим бар'єром. Сучасні дослідження пропонують удосконалення технологій електроформування та розчинового нанесення для створення міцних, пральностійких та гнучких текстилів, здатних працювати у режимі безперервного збору енергії [295].

Другою важливою розробкою є створення багатофункціональних текстильних платформ, які об'єднують енергозбір, енергозбереження та сенсорні модулі в одній волокнистій структурі (Додаток Г, рис. Г.25). Такі системи запропоновані дослідниками з Каліфорнійського університету у липні 2023 року, які дають змогу одночасно відстежувати фізіологічні показники, оцінювати

механічні навантаження та забезпечувати передачу даних без необхідності зовнішньої підзарядки. Однак інтеграція багатьох датчиків може створювати перехресні завади, що знижує точність електрофізіологічних вимірювань до 20 % [333]. Для вирішення цих проблем розробляють методи частотного мультиплексування, нові схеми керування енергією та використовують стійкі до стирання й термостійкі матеріали, придатні для роботи в умовах підвищеного ризику, зокрема пожежогасіння та промислової безпеки. Ці підходи створюють основу для автономних, надійних та адаптивних смарттекстильних систем.

Біоорієнтований смартодяг формує сучасне бачення екологічно відповідного дизайну, у якому матеріали та електронні елементи стають гнучкими, біорозкладними або здатними до самовідновлення. У пункті 3.3 даного розділу було узагальнено ключові перспективи цього напрямку, серед яких самовідновлювальний текстиль на основі полімерних систем, здатний відновлювати механічні ушкодження [210]; біоактивний самовідновлювальний текстиль, у якому живі мікроорганізми забезпечують відновлення структури волокон [93]; екологічно чистий електронний текстиль, що поєднує біорозкладні основи з провідними матеріалами [284]; а також біорозкладні електронні компоненти, що використовують природні або біологічні матеріали для створення екологічних сенсорних та енергетичних елементів [332]. Така сукупність рішень демонструє багаторівневий потенціал біоорієнтованого смартодягу та його стратегічну важливість для майбутнього.

Відповідно до проаналізованої інформації серед перспективних напрямів розвитку смарттехнологій у дизайні одягу виділено:

- *одяг зі штучним інтелектом;*
- *нейроінтерактивний одяг;*
- *екзоскелети та робототехніка;*
- *«невидима» електроніка;*
- *енергоавтономний та біоорієнтований смартодяг тощо.*

Отже, встановлено, що розвиток смарттехнологій в дизайні одягу зумовлюється такими основними чинниками, як зростання технологічних інновацій, орієнтація на індивідуалізацію та користувацький досвід, інтеграція принципів сталого розвитку та міждисциплінарна співпраця. Проаналізовано регіональну специфіку розвитку смарттехнологій в дизайні одягу, що проявляється у домінуванні окремих напрямів у різних регіонах, та визначено, що майбутнє розвитку смартодягу зумовлюватиметься посиленням міжнародної та міждисциплінарної співпраці, що сприятиме появі інноваційних рішень і технологічних проривів. До перспективних напрямів розвитку смарттехнологій у дизайні одягу віднесено одяг зі штучним інтелектом, нейроінтерактивний одяг, екзоскелети та робототехнічні системи, «невидиму» електроніку, енергоавтономний і біоорієнтований смартодяг, які мають високий інноваційний потенціал та здатні суттєво розширити характеристики та можливості одягу. Сукупність окреслених напрямів формує вектор наукового та практично орієнтованого пошуку, спрямованого на розробку інноваційних, адаптивних і технологічно інтегрованих дизайнерських рішень.

Висновки до розділу 3

1. З урахуванням швидких темпів розвитку інноваційних технологій проаналізовано закордонні смартрозробки за останні п'ять років, що дозволило визначити актуальні тенденції розвитку галузі. Встановлено, що провідною сферою застосування смарттехнологій у дизайні одягу є *охорона здоров'я*, де виробни орієнтовані переважно на моніторинг фізіологічних і поведінкових показників. Виявлено тенденцію до *інтеграції електронних компонентів, провідних ниток та оптичних волокон у структуру текстилю*, що сприяє підвищенню зручності використання одягу та розширенню варіативності дизайнерських рішень. Відзначено *впровадження технологій бездротового живлення та енергогенеруючих елементів*, що забезпечує створення автономних смартвиробів і покращення їхніх естетичних та ергономічних характеристик.

Також встановлено тенденцію до *використання в розробках бездротових каналів передачі даних і зростання застосування технологій обробки сигналів* із використанням штучного інтелекту, хмарних обчислень, доповненої та змішаної реальності, що підвищує адаптивність і функціональність смартодягу.

2. Здійснено аналіз сучасних вітчизняних розробок із застосуванням смарттехнологій в дизайні одягу за останні п'ять років. Встановлено, що в Україні цей напрям наразі представлений переважно *виробами з функцією підігріву*, серед основних виробників яких визначено ТМ «Shine» (м. Харків), бренд «Freever» (м. Одеса), Східноукраїнський технокластер (м. Краматорськ) та підприємство «VELNA» (м. Українськ), при цьому останні з перелічених уже не функціонують, що свідчить про труднощі в розвитку цього напрямку. Загалом сферу смарттехнологій в дизайні одягу в Україні можна охарактеризувати як недостатньо розвинену, хоча потреба у її впровадженні є актуальною, особливо в умовах війни. Визначено, що для розвитку галузі необхідні інвестиції в наукові дослідження, підтримка інновацій, модернізація виробництва та міжгалузева співпраця.

3. Встановлено, що дизайн-проектування смартвиробів потребує комплексного підходу, який передбачає узгоджене врахування естетичних, функціональних, ергономічних і технологічних аспектів. Запропоновано шість критеріїв оцінювання смартвиробів, що дозволяють визначити якість, ефективність і доцільність дизайн-проектних рішень. Відповідно до проаналізованих сучасних розробок виокремлено рішення, що відповідають заданим критеріям, серед яких: обґрунтований підбір кольорових рішень із урахуванням умов використання та психологічного впливу на користувача, застосування принтів і конструктивних елементів для підвищення естетичної привабливості, проектування анатомічно адаптованого крою та використання гнучких і безшовних матеріалів для забезпечення комфорту і свободи рухів, інтеграція електронних компонентів у структуру текстилю, внутрішні шари або як елемент дизайну, використання матеріалів, стійких до розтягнення і багаторазових навантажень, забезпечення стабільної роботи технічних

компонентів під час експлуатації та догляду за виробом, а також інтуїтивне розташування елементів управління з урахуванням анатомічних особливостей користувача тощо. Виділені рішення створюють теоретико-практичну основу для розробки, проєктування та вдосконалення майбутніх інноваційних розробок у сфері смарттехнологій.

4. Обґрунтовано доцільність застосування концепції сталого розвитку у процесі розробки смартодягу, що забезпечує раціональне використання ресурсів, зменшення відходів, подовження життєвого циклу виробу. Визначено *екодизайн* як один із основних підходів до забезпечення сталого розвитку смартвиробів. Серед напрямів реалізації принципів екодизайну виділено застосування екологічно орієнтованих матеріалів, таких як *самовідновлювальний текстиль, самовідновлювальний текстиль з інтеграцією живих біологічних компонентів, біосумісний та біорозкладний текстиль на основі біополімерів, текстиль SWEET, а також мікроінкапсульований смарттекстиль з мікрокапсулами природного походження*. Визначено також напрями сталого розвитку електронних компонентів, що передбачають зменшення електронних відходів шляхом впровадження *гнучкої електроніки, використання біорозкладних компонентів, перероблення матеріалів і модернізації елементів зі старих виробів*. Встановлено, що застосування у дизайн-проєктуванні підходів *модульності, сумісності, оновлюваності та кастомізації* забезпечує підвищення адаптивності й ремонтпридатності смартодягу, що сприяє подовженню терміну його експлуатації. Викладені положення створюють основу для впровадження ефективних дизайнерських рішень, спрямованих на оптимізацію життєвого циклу виробу та мінімізацію його впливу на навколишнє середовище.

5. Проаналізовано перспективні напрями смарттехнологій у дизайні одягу. Встановлено, що їх розвиток зумовлюється такими основними чинниками, як *зростання технологічних інновацій, орієнтація на індивідуалізацію та користувацький досвід, інтеграція принципів сталого розвитку та міждисциплінарна співпраця*. Проаналізовано регіональну

специфіку розвитку смарттехнологій в дизайні одягу, що проявляється у домінуванні окремих напрямів у різних регіонах, та визначено, що майбутнє розвитку смартодягу зумовлюватиметься посиленням міжнародної та міждисциплінарної співпраці, що сприятиме появі інноваційних рішень і технологічних проривів. До перспективних напрямів розвитку смарттехнологій у дизайні одягу віднесено *одяг зі штучним інтелектом, нейроінтерактивний одяг, екзоскелети та робототехнічні системи, «невидиму» електроніку, енергоавтономний і біоорієнтований смартодяг*, які мають високий інноваційний потенціал та здатні суттєво розширити характеристики та можливості одягу. Сукупність окреслених напрямів формує вектор наукового та практично орієнтованого пошуку, спрямованого на розробку інноваційних, адаптивних і технологічно інтегрованих дизайнерських рішень.

Основні результати цього розділу дисертації апробовано у статтях [27] та науково-практичних конференціях [29, 33].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано стан наукового вивчення теми смарттехнологій у дизайні одягу, що засвідчило широковекторний і різноплановий характер досліджень. Виокремлено фундаментальні та теоретичні наукові праці, у яких висвітлено історію моди й одягу, розглянуто класифікації, типології, а також основні принципи й підходи до дизайн-проектування традиційного та смартодягу. Поряд із цими джерелами виділено прикладні дослідження, присвячені інноваційним розробкам і конкретним прикладам практичної реалізації смарттехнологій у дизайні одягу. До найбільш значущих дослідників у сфері носимих технологій, смартодягу, смарттекстилю та електронного текстилю належать S. Mann, S. Seymour, X. Tao, L. E. Dunne, T. Dias, T. Hughes-Riley, J. Verzowska V. Koncar та ін., наукові праці яких формують теоретичне та практичне підґрунтя розвитку смарттехнологій у дизайні одягу. Встановлено, що попри значну кількість існуючих публікацій, робіт, які розглядають смарттехнології з точки зору дизайнерського підходу, виявилось недостатньо. Також з'ясовано, що в Україні такі наукові дослідження мають переважно прикладний характер і зосереджені на окремих практичних рішеннях та вузьких сферах застосування. З метою всебічного висвітлення досліджуваної проблематики сформовано методологічну основу, що ґрунтується на системному підході та комплексі загальнонаукових методів, таких як аналіз, синтез, порівняння, абстрагування, узагальнення, аналітика та прогнозування, а також спеціальних науково-дослідних методів, зокрема історико-хронологічного, структурно-функціонального, структурно-описового, композиційного та художньо-стилістичного аналізу.

2. Визначено основні напрями розвитку смарттехнологій, такі як *Інтернет речей, штучний інтелект, машинне навчання, аналітика великих даних, хмарні обчислення та робототехніка*, які тісно взаємодіють між собою. Встановлено, що підкатегорією Інтернету речей є носимі пристрої, які класифіковано за рівнем інтеграції в тіло користувача від зовнішніх носимих

аксесуарів до імплантованих систем в організм людини. Виділено *текстильні носимі пристрої*, до яких належить смартодяг, що поєднує текстильні матеріали з електронними та цифровими компонентами, інтеграція яких впливає на формоутворення, конструкцію та художньо-образне вирішення виробу, що зумовлює необхідність застосування дизайнерського підходу. Проаналізовано процес становлення та розвитку смарттехнологій в дизайні одягу та виділено три основні етапи: початковий – охоплює період з 1960 до 1999 року та характеризується появою перших винаходів і експериментальних досліджень; другий – припадає на 2000-2009 роки й відзначається переходом до практичної реалізації та комерціалізації розробок, що супроводжується ускладненням конструкцій, зменшенням габаритів електронних компонентів, підвищенням їх енергоефективності та рівня інтеграції; третій етап, що охоплює 2010-2020 роки та пов'язаний із концепцією Індустрії 4.0, характеризується впровадженням Інтернету речей, штучного інтелекту, робототехніки та хмарних сервісів, що трансформує смартодяг у багатофункціональну адаптивну систему.

3. Розроблено типологію смартодягу за сферою використання та функціями, які вони виконують: *для спорту та фітнесу, охорони здоров'я, військової й оборонної сфер, забезпечення безпеки, розважальної та модної індустрії, освітньої діяльності, а також для повсякденного використання*. Встановлено, що смартодяг має складну структуру, у якій поєднуються *технологічна та матеріальна складові*. У технічній складовій смартодягу виокремлено чотири взаємопов'язані підсистеми з відповідними модулями, що виконують критично важливі функції, такі як *збір та отримання інформації* (сенсорний модуль та модуль розташування), *передачу та обробку даних* (модулі зв'язку та обробки даних), *прийняття та реалізацію рішень* (модулі управління, виконавчий та модуль відображення), а також *енергозабезпечення та зберігання даних* (модулі живлення та зберігання даних). Розглянуто матеріальну складову смартодягу, що передбачає використання *традиційного, функціонального смарт- та електронного текстилю*. Надано класифікації смарттекстилю за рівнем розвитку та функціями, а також електронного текстилю за ступенем

інтеграції його компонентів. Відповідно до технічної та матеріальної складових, сформовано типології смартодягу за: *типом застосовуваних датчиків* (біометричні, біохімічні, кінематичні, параметрів навколишнього середовища, навігаційні, комбіновані), *типом гнучкості датчиків* (жорсткі, гнучкі), *способами передачі даних* (без передачі, дротові, бездротові), *способами кріплення модулів обробки даних* (знімні, інтегровані у конструкцію виробу), *способами керування* (без керування, ручні, автоматичні, комбіновані), *способами відображення інформації* (без візуального відображення, опосередковані, інтегровані), *способами живлення* (автономні, енергогенеруючі, комбіновані) та *за технологіями зберігання даних* (вбудовані, зовнішні, хмарні), а також за *типом текстильних матеріалів* (традиційні, функціональні, смарт- та електронний текстиль).

4. Виділено чотири ключові аспекти дизайн-проектування смартодягу: *естетичні*, що формуються через гармонійність композиційних і колористичних рішень, узгодженість форм і пропорцій складових моделі; *функціональні*, які визначають здатність виробу виконувати традиційні утилітарні функції та задані технічні завдання; *ергономічні*, що забезпечують комфорт, зручність носіння, свободу рухів і відповідність анатомічним особливостям користувача; *високотехнологічні*, які передбачають застосування інноваційних матеріалів, електронних систем і сучасних технологій. Запропоновано удосконалений процес дизайн-проектування смартодягу, що включає структуровано-логічну послідовність таких етапів: визначення завдання на проектування, що доповнене врахуванням технологічних і функціональних можливостей виробу; виконання передпроектних досліджень з важливістю аналізу новітніх технологій та оцінкою сумісності матеріалів із технічними складовими; розробку ескізу та первинної схеми роботи моделі, що передбачає опрацювання схеми функціонування технічної складової; створення першого та другого макетів із внесенням коригувань; виготовлення остаточних лекал і схем інтегрованих пристроїв; затвердження та виготовлення остаточного зразка; розробку проектно-конструкторської документації та впровадження моделі у виробництво.

5. Визначено актуальні тенденції та інноваційні рішення у дизайні одягу на основі аналізу сучасних смартрозробок. Встановлено, що провідною сферою застосування смарттехнологій у дизайні одягу є *охорона здоров'я*, де виробни орієнтовані переважно на моніторинг фізіологічних і поведінкових показників. Виявлено тенденцію до *інтеграції електронних компонентів, провідних ниток та оптичних волокон у структуру текстилю*, що сприяє підвищенню зручності використання одягу та розширенню варіативності дизайнерських рішень. Відзначено *впровадження технологій бездротового живлення та енергогенеруючих елементів*, що забезпечує створення автономних смартвиробів і покращення їхніх естетичних та ергономічних характеристик. Також встановлено тенденцію до *використання в розробках бездротових каналів передачі даних і зростання застосування технологій обробки сигналів із використанням штучного інтелекту, хмарних обчислень, доповненої та змішаної реальності*, що підвищує адаптивність і функціональність смартодягу. Виокремлено рішення, що застосовуються дизайнерами з метою забезпечення комплексного підходу до дизайн-проектування смартвиробів з урахуванням естетичних, функціональних, ергономічних і технологічних аспектів, серед яких: обґрунтований підбір кольорових рішень із урахуванням умов використання та психологічного впливу на користувача, застосування принтів і конструктивних елементів для підвищення естетичної привабливості, проектування анатомічно адаптованого крою та використання гнучких і безшовних матеріалів для забезпечення комфорту і свободи рухів, інтеграція електронних компонентів у структуру текстилю, внутрішні шари або як елемент дизайну, використання матеріалів, стійких до розтягнення і багаторазових навантажень, забезпечення стабільної роботи технічних компонентів під час експлуатації та догляду за виробом, а також інтуїтивне розташування елементів управління з урахуванням анатомічних особливостей користувача. Виділені рішення створюють теоретико-практичну основу для розробки, проектування та вдосконалення майбутніх інноваційних розробок у сфері смарттехнологій.

б. Досліджено актуальні та перспективні напрями розвитку смарттехнологій у дизайні одягу. Встановлено, що одним із найбільш пріоритетних напрямів є сталий розвиток, що зумовлено зростанням усвідомлення екологічних наслідків діяльності індустрії моди, які ускладнюються впровадженням смарттехнологій. У цьому контексті екодизайн визначено як один із ключових підходів до забезпечення сталості під час дизайн-проектування смартодягу. Серед основних напрямів його реалізації виокремлено застосування екологічно орієнтованих текстильних матеріалів, зокрема *самовідновлювального текстилю, у тому числі з інтеграцією біологічних компонентів, біосумісного та біорозкладного текстилю на основі біополімерів, текстилю типу SWEET, а також мікроінкапсульованого смарттекстилю з мікрокапсулами природного походження*. Визначено напрями сталого розвитку електронних компонентів, що передбачають зменшення електронних відходів через *використання гнучкої та біорозкладної електроніки, перероблення матеріалів і модернізацію елементів зі старих виробів*. Встановлено, що впровадження у дизайн-проектування принципів *модульності, сумісності, оновлюваності та кастомізації* сприяє підвищенню адаптивності та ремонтпридатності смартодягу і подовженню терміну його експлуатації. До інших перспективних напрямів розвитку віднесено *одяг зі штучним інтелектом, нейроінтерактивний одяг, екзоскелети та робототехнічні системи, «невидиму» електроніку, енергоавтономний і біоорієнтований смартодяг*, які мають високий інноваційний потенціал і здатні розширити функціональні та естетичні можливості одягу. Сукупність окреслених напрямів формує вектор наукового та практично орієнтованого пошуку, спрямованого на розробку інноваційних, адаптивних і екологічно орієнтованих дизайнерських рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Арабулі А., Аврамук Т. Аналіз інноваційних підходів до технологічної обробки трикотажних бавовняних полотен. *KyivTex&Fashion* : тези доп. VII Міжнар. наук.-практ. конф. текст. та фешн-технологій, м. Київ, 17 жовтня 2024 р. Київ : КНУТД, 2024. С. 289-290. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/31539>
2. Арабулі С. І., Арабулі А. Т., Труба А. А. Головні убори для захисту від шкідливого УФ випромінювання. *Індустрія моди. Fashion Industry*. 2021. № 4. С. 42-50. DOI: <https://doi.org/10.30857/2706-5898.2021.4.3>
3. Артеменко Т. П., Березненко С. М., Яценко М. В. Оцінка впливу наномодифікованих шкірматеріалів на функціональний стан органів і систем органів людини. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2015. № 1(82). С. 216-221. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/165/1/V82_P216-221.pdf
4. Барабаш М. Ю., Супрун Н. П., Гринько Д. О., Колесніченко А. А., Леонов Д. С., Сперкач С. О. Металева репліка поверхні наноструктурного темплату як інструмент «розумного» текстилю. *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*. 2020. № 18(2). С. 345-356. URL: https://www.imp.kiev.ua/nanosys/media/pdf/2020/2/nano_vol18_iss2_p345p356_2020.pdf
5. Березненко С. М., Березненко Н. М., Маліборський О. Створення модифікованих ниток для виготовлення одягу профілактично-оздоровчого призначення. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2017. № 5(114). С. 203-208. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/8018>
6. Варивончик А., Пенчук О., Пальцун, О. Інноваційні технології в дизайні одягу XXI ст. *Деміург: ідеї, технології, перспективи дизайну*. 2022. Том 5, № 1. С. 106-118. DOI: <https://doi.org/10.31866/2617-7951.5.1.2022.257485>

7. Голобородько В. М., Свірко В. О., Рубцов А. Л. Ергодизайн як методологічна стратегія сучасної дизайн-ергономічної діяльності. *Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв*. 2013. №2. С. 23-26. URL: <https://www.visnik.org.ua/pdf/v2013-02-06-goloborodko.pdf>
8. Дизайн одягу в полікультурному просторі : монографія / за ред. М. В. Колосніченко, К. Л. Пашкевич, Т. Ф. Кротова та ін. Київ : КНУТД, 2020. 268 с. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/16083>
9. Драпіковська Ю. О., Арабулі А. Т. Особливості виготовлення одягу з підігрівом. *Технології та дизайн*. 2015. № 3(16). URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/13661/1/NRMSE2019_V1_P054-055.pdf
10. ДСТУ ISO 14006:2021. Системи екологічного управління. Настанови щодо запровадження екологічного проектування (EN ISO 14006:2020, IDT; ISO 14006:2020, IDT). [На заміну ДСТУ ISO 14006:2013; чинний від 20.12.2021]. ДП «УкрНДНЦ», 2021. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64015
11. Жилет з підігрівом ТМ Shine хакі. *Elektrogrelka*. URL: <https://elektrogrelka.com/ua/p1134256959-zhilet-podogrevom-shine.html>
12. Зимогляд Н. С. Модель професійної діяльності дизайнера одягу з проектування швейних виробів. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. 2010. № 28-29. С. 48-57. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pipo_2010_28-29_10
13. Колосніченко М. В. Удосконалення методів дизайн-проектування при створенні нових форм спецодягу. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2014. № 6(80). С. 113-123. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/724/1/V80_P113-123.pdf
14. Колосніченко М. В., Пашкевич К. Л. Мода і одяг. Основи проектування та виробництва одягу : навч. посіб. Київ : КНУТД, 2018. 238 с. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/4007>

15. Колосніченко О. В. Теоретичні основи художньо-композиційного формоутворення одягу спеціального призначення : дис. ... док. мистецтвознавства : 17.00.07. Київ : КНУТД, 2019.
16. Колосніченко О. В., Баранова А. І., Крічлоу К. В., Мазуренко О. Р., Степанчук Д. Ю. Розвиток форм костюма ХХ століття під впливом науково-технічного прогресу. *Інноватика в освіті, науці та бізнесі: виклики та можливості* : матеріали I Всеукр. конф. здоб. вищ. освіти і мол. учених (м. Київ, 17 лист. 2020 р.). Київ : КНУТД, 2020. С. 253-261. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/17462/1/Innovatyka2020_P253-261.pdf
17. Колосніченко О., Пашкевич К., Остапенко Н., Люклян Н., Рубанка А. Ергономічні адаптивні вироби для пацієнтів: систематизації та інноваційні технології. *Актуальні проблеми сучасного дизайну* : збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 27 квітня 2022 року. В 2-х т. Т. 1. Київ : КНУТД, 2022. С. 162-165. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/20914>
18. Колосніченко О. В., Пашкевич К. Л., Остапенко Н. В., Люклян Н. Р., Колосніченко М. В. Проектування адаптивного одягу для пацієнтів лікарень із врахуванням умов його експлуатації. *Art and Design*. 2022. № 3 (19). С. 72-87. DOI: <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2022.3.6>
19. Колосніченко О. В., Пашкевич К. Л., Остапенко Н. В., Скрипченко А. Г., Люклян Н. Р. Аналіз і систематизація різновидів проектних рішень при виготовленні адаптивного одягу для пацієнтів. *Art and Design*. 2022. № 2 (18). С. 94-107. DOI: <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2022.2.8>
20. Косяк І. В. Взаємодія механізму творчості та сучасних методів проектування в дизайні одягу. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. 2016. № 1(7). С. 78-81. URL: <https://enpuirb.udu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/54ac40a7-5788-4aba-8954-705fa5c4a4b4/content>

21. Кротова Т. Синтез форм класичного костюма з актуальними стильовими напрямками. *Дизайн одягу в полікультурному просторі* : монографія/ за ред. М. В. Колосніченко, К. Л. Пашкевич, Т. Ф. Кротова та ін. Київ : КНУТД, 2020. С. 45–61. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/16292>
22. Кротова Т. Ф. Класичний костюм в європейській моді XIX - початку XX століття : еволюція форм і художньо-стильові особливості : автореф. дис. ... док. мистецтвознавства : 17.00.06. Львів : ЛНАМ, 2015. 31 с.
23. Кротова, Т. Ф. Канони античності й відродження як основа тектонічного строю класичного костюма. *Art and Design*. 2018. №1. С. 83–94. DOI: <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2018.1.8>
24. Курганський А. В., Березненко С. М., Курганська М. М. Принцип зонально-диференційованого розташування елементів бездротових сенсорних мереж моніторингу мікроклімату під одягом. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2016. № 5(102). С. 118-125. URL: https://test.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/3420/1/V102_P118-125.pdf
25. Лагода О. М. Дизайн костюма. Практики репрезентацій: монографія. Черкаси: Видавець Третьяков О.М., 2018. 296 с.
26. Лагода О. М. Репрезентативні практики дизайну костюма в контексті еволюції художньо-проектної культури: дис... док. мистецтвознавства : 17.00.07. Київ : КНУТД, 2020. 487 с. <https://elib.nakkkim.edu.ua/handle/123456789/2896>
27. Люклян Н., Пашкевич К. Удосконалення естетичних та ергономічних показників в одязі з підгрівом на основі порівняльного аналізу аналогів. *Український мистецтвознавчий дискурс*. 2025. № 5. С. 106-114. DOI: <https://doi.org/10.32782/uad.2025.5.12>
28. Люклян Н., Пашкевич К., Айлені Р. М., Ірован, М. Етапи дизайн-проекування одягу з інтеграцією смарт технологій. *Актуальні проблеми сучасного дизайну* : збірник матеріалів VII Міжнародної науково-

- практичної конференції, м. Київ, 4 квітня 2025 року. У 3-х т. Т. 1. Київ : КНУТД, 2025. С. 365-367. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/31260>
29. Люклян Н., Пашкевич К., Матюшенко Т., Скріпченко А. Еволюція та перспективи розвитку смарт-технологій в дизайні одягу. *Актуальні проблеми сучасного дизайну* : збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 25 квітня 2024 року. У 3-х т. Т. 1. Київ : КНУТД, 2024. С. 323-326. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/28184>
30. Люклян Н. Р. Писаренко Н. М. Technology in fashion. *Інноваційні тенденції підготовки фахівців в умовах полікультурного та мультилінгвального глобалізованого світу* : збірник тез доповідей IV Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 9 квітня 2019 р. Київ : КНУТД, 2019. С. 192-196. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/13081>
31. Люклян Н. Р., Писаренко Н. М. Biodegradable textiles as an alternative to standard fabrics. *Інноваційні тенденції підготовки фахівців в умовах полікультурного та мультилінгвального глобалізованого світу* : збірник тез доповідей V Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 7 квітня 2020 р. Київ : КНУТД, 2020. С. 299-302. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/15326>
32. Люклян Н. Р., Пашкевич К. Л. Історичний контекст інновацій в дизайні одягу. *International scientific-practical conference "Actual problems of science, education and technologies"* : conference proceedings, Bratislava, Slovakia, July 25, 2023. Bratislava, Slovakia : Scholarly Publisher ICSSH, 2023. P. 90-92. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/25188>
33. Люклян Н. Р., Пашкевич К. Л., Колосніченко О. В., Власенко В. І. Застосування розумних тканин при проектуванні функціонального одягу для пацієнтів. *Débats scientifiques et orientations prospectives du développement scientifique* : collection de papiers scientifiques "ΛΟΓΟΣ" avec des matériaux de la I conférence scientifique et pratique internationale, Paris,

- République française, 5 février 2021. Vol. 3. Vinnytsia-Paris: Plateforme scientifique européenne & La Fedeltà, 2021. P. 44-46. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-05.02.2021.v3.12>
34. Майка компресійна з електродами для прийому пульсу POLAR Team Pro Shirt XXXL. *POLAR-UA*. URL: <https://ua.polar-ua.com/item/mayka-kompressionnaya-s-elektrodami-dlya-priema-pulsa-polar-team-pro-shirt-xxxl-10905>
35. Мельник М. Мода в контексті художніх практик ХХ ст.: автореф. дис. ... канд. мистецтвознавства : 26.00.01. Київ : КНУКіМ, 2008. 19 с. URL: <https://elib.nakkkim.edu.ua/handle/123456789/3012>
36. Мица В. Взаємозв'язок між технологіями, що носяться, «розумним одягом» та штучним інтелектом. *KyivTex&Fashion* : тези доп. VII Міжнар. наук.-практ. конф. текст. та фешн-технологій, м. Київ, 19 жовтня 2023 р. Київ : КНУТД, 2023. С. 272-273. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/25473/1/KyivTex%26Fashion_2023_P272-273.pdf
37. Мица В., Домбровська О. Функції одягу та вимоги до якості: від фізичного до цифрового. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2025. № 347(1). P.256-262. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-347-34>
38. Назарчук Л. В., Пашкевич К. Л., Єфімчук Г. В. Застосування NBIC-технологій у проектуванні «розумного» одягу. *KyivTex&Fashion* : тези доп. III Міжнар. наук.-практ. конф. текст. та фешн-технологій, м. Київ, 31 жовтня 2019 р. Київ : КНУТД, 2019. С. 21-25. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/14723>
39. Невдобенко Н. М., Арабулі А. Т. Проектування зимових рукавичок для туризму з покращеними теплозахисними властивостями. *Технології та дизайн*. 2017. № 1(22). URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/5731>
40. Овсянко Д., Немкова О. Смарт-контракти як механізми забезпечення приватності в розподілених системах цифрових двійників. *Електронне*

- фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка». 2025. № 1(29). С. 107–123. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.29.867>
41. Орлова Н. С. Художнє проектування одягу з урахуванням вимог ергономічного дизайну. *Безпека життя і діяльності людини: теорія та практика* : зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Полтава, 25-26 квіт. 2019 р.). Полтава, 2019. С. 153–155. URL: <http://dspace.pnpu.edu.ua/bitstream/123456789/14420/1/52.pdf>
42. Осадча А. М. Удосконалення дизайн-проектування одягу. *Народознавчі зошити*. 2018. № 3(141). С. 731-737. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/9764>
43. Остапенко Н. В., Колосніченко М. В., Васильєва І. В. Класифікація конструктивних елементів спеціального одягу, що трансформуються. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2008. № 1(38). С. 187-190.
44. Остапенко Н. В., Луцкер Т. В., Рубанка А. І., Колосніченко О. В. Узагальнена систематизація виробів спеціального призначення. *Теорія та практика дизайну*. 2016. № 10. С. 122-143. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/2039>
45. Пашкевич К. Л. Дизайн одягу на засадах тектонічного підходу: методи, засоби, проектні практики: Ч.1. Конструктивне моделювання одягу. монографія. Київ : КНУТД, 2023. 136 с. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/23564>
46. Пашкевич К., Колосніченко О., Скрипченко А., Люклян Н. Інновації в конструктивному рішенні одягу для пацієнтів. *Актуальні проблеми сучасного дизайну* : збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 22 квітня 2021 року. В 2-х т. Т. 1. Київ : КНУТД, 2021. С. 295-297. URL: <https://repository.utm.md/handle/5014/18479>
47. Пашкевич К. Л., Герасименко О. Д., Єжова О. В., Шмагало Р. Т., Люклян Н. Р. Українська естетика в дизайні сучасних ювелірних виробів. *Art and*

- Design*. 2023. № 1 (21). С. 143-156. DOI: <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2023.1.14>
48. Пашкевич К. Л., Колосніченко М. В., Науменко К. О., Хапанцева О. С. Застосування сучасних методів для проектування колекцій одягу складних форм. *Теорія та практика дизайну*. 2015. Вип. 15. Ст. 217-225. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/459/1/20160204_P217-225.pdf
49. Пашкевич К. Л., Колосніченко М. В., Фролов І. В., Герасименко О. Д., Скрипченко А. Г. Дизайн-проекування систем одягу на засадах тектонічного підходу. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2017. № 3. С. 249-256. URL: <https://repository.utm.md/handle/5014/18478>
50. Процик Б. О., Герасименко О. Д., Пашкевич К. Л., Люклян Н. Р., Касс Б. В. Аналіз особливостей електронних манекенів і бодісканерів для дизайну та візуалізації одягу. *Теорія та практика дизайну. Культура і мистецтво*. 2024. Вип. 1(31). С. 160–170. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2024.31.19>
51. Процик Б. О., Пашкевич К. Л., Герасименко О. Д., Люклян Н. Р. Напрями використання цифрового одягу в сучасній фешн-індустрії. *Український мистецтвознавчий дискурс*. 2023. № 6. С. 73–81. DOI: <https://doi.org/10.32782/uad.2023.6.9>
52. Рябчиков М., Назарчук Л., Стицюк В., Ткачук О., Каган О. Перспективи впровадження магнітних текстильних матеріалів з вмістом наноскладових на основі дво і тривалентного оксидів заліза. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2022. № 311(4). С. 220-226. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-311-4-220-226>
53. Рябчиков М., Стицюк В., Каган О. Створення рухомих смарт-систем одягу методами магнітного нанотекстилю. *KyivTex&Fashion* : тези доп. VI Міжнар. наук.-практ. конф. текст. та фешн-технологій, м. Київ, 20 жовтня 2022 р. Київ : КНУТД, 2022. С. 120-122. URL: <https://stud.knutd.edu.ua/handle/123456789/22879>

54. Скрипник Ю. О., Супрун Н. П., Ваганов О. А., Шевченко К. Л., Яненко О. П. Дослідження впливу фарбування рослинними барвниками на електромагнітні властивості текстильних матеріалів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2009. № 5. С. 124-129. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/6844>
55. Скульська І. П., Поліщук О. І. Розробка класифікації стильових рішень одягу. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2010. №5. С. 105-110. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/5658/1/Bul2010_N5T1_P105-110.pdf
56. Славінська А. Л., Мица В. Інноваційні технології модульного проєктування конструктивно-уніфікованих рядів стабільного асортименту. *Індустрія моди. Fashion Industry*. 2021. №2. С. 34-42. DOI: <https://doi.org/10.30857/2706-5898.2021.2.2>
57. Старовойт О. В. Куртка та жилет з підігрівом: на Донеччині розпочали виготовляти «розумний» одяг. *Vseosvita*. URL: <https://vseosvita.ua/c/news/post/46037>
58. Супрун Н. П., Береза-Кіндзерська Л. В., Бричка А. В., Бричка С. Я. Синтез наповнених алюмосилікатними нанотрубками агар-агарових гелів для ранових покриттів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2016. № 4(100). С. 49-55. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/2498>
59. Чоловіча куртка з підігрівом: огляд популярної моделі від бренду Freeever. *Freeever*. URL: https://freeever.ua/muzhskaya-kurtka-s-podogrevom?gclid=CjwKCAjwreW2BhBhEiwAavLwfJMa7ZU5fsMwOrUQr0WUH_3tYTCBAX_0T8hoOmaSkuOAHg04UEiQTRoCrSoQAvD_BwE
60. Чупріна Н. В. Особливості процесу дизайну костюма. *Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв*. 2008. № 6. С. 160-166. URL: <https://hudprom.org.ua/archive/Herald-2008/2008-N6/08chnpds.pdf>

61. Чупріна Н.В. Система моди ХХ - початку ХХІ століття: проектні практики та чинники функціонування (європейський та український контексти) : монографія. Київ : КНУТД, 2019. 476 с.
62. 'World first' haptic shirts help deaf fans feel stadium atmosphere. *HTWorld*. URL: <https://www.htworld.co.uk/news/wearables/world-first-haptic-shirts-help-deaf-fans-feel-stadium-atmosphere/>
63. A smarter way to run. *Sensoria Fitness*. URL: <https://www.sensoriafitness.com/smartsocks/>
64. Abiodun B. How Kemisola Bolarinwa invented a smart bra to detect cancer and save lives globally. *TechPoint*. URL: <https://techpoint.africa/feature/how-the-smart-bra-was-invented/>
65. Adewale T. Cloud computing for real-time health monitoring and wearable devices. 2024. Vol. 1. P. 1-11. https://www.researchgate.net/publication/387424904_Cloud_Computing_for_Real-Time_Health_Monitoring_and_Wearable_Devices
66. Adobe's First Completed Interactive Dress Debuts at Christian Cowan's Runway In New York. *DESIGNBOOM*. URL: <https://www.designboom.com/technology/adobe-interactive-dress-project-primrose-debut-christian-cowan-fw24-02-13-2024/>
67. Alexandrova J. «Тактильний» костюм OWO Skin здатний передавати відчуття у VR-світі #CES2023. *ROOT NATION*. URL: <https://root-nation.com/ua/news-ua/it-news-ua/ua-taktilniy-kostyum-owo-skin-zdatniy-peredavati-vidchuttya-u-vr-sviti/>
68. And Now Electrically-Activated Sportswear with Nature-Inspired Active Perspiration Function. *TEXFASH*. URL: <https://texfash.com/research/and-now-electrically-activated-sportswear-with-nature-inspired-active-perspiration-function>
69. Aouf R. S. MIT's 4D-Knit Dress changes shape in response to heat. *DEZEEN*. URL: <https://www.dezeen.com/2024/02/09/4d-knit-dress-mit-ministry-of-supply/>

70. Arabuli A., Arabuli S., Kyzymchuk O., Melnyk L. Electric heating clothing for motorcyclists. *Fibres and Textiles*. 2023. Vol. 30, No. 2. P. 43-50. DOI: <https://doi.org/10.15240/tul/008/2023-2-005>
71. Arabuli S., Arabuli A., Kyzymchuk O., Tunakova V., Bajzik V., Halavska L. Shielding properties of hybrid knitted fabrics: reflection and absorption. *Journal of Industrial Textiles*. 2025. No. 55, 15280837241313351. DOI: <https://doi.org/10.1177/15280837241313351>
72. Arabuli S., Vlasenko V., Martinkova L. Liquid moisture transport performance of textiles. *Fibres and Textiles*. 2018. No. 2. P. 3-7. URL: http://vat.ft.tul.cz/2018/2/VaT_2018_2_1.pdf
73. Ariyatun B., Holland R., Harrison D., Kazi T. The future design direction of smart clothing development. *Journal of the Textile Institute*. 2005. Vol. 96, No. 4. P. 199-210. URL: <https://bura.brunel.ac.uk/bitstream/2438/1362/1/Textile%20institute%20journal.pdf>
74. Arrow launches a Shirt with NFC Tag that Connect to your Phone & Calls it a Smart Shirt. *PhoneRadar*. URL: <https://phoneradar.com/arrow-launches-shirt-nfc-tag-connect-phone-calls-smart-shirt/>
75. ASTM D8248-20. Standard Terminology for Smart Textiles. West Conshohocken : ASTM International, 2020. 1 p. DOI: <https://doi.org/10.1520/D8248-20>
76. Astroskin Device. Hexoskin. URL: <https://hexoskin.com/products/astroskin-device?srsId=AfmBOorMAB2UblIIF71vzHpC5o9ENsLEjrwReWcvA2HFYppdOWfrVmNP&utm>
77. Athos Smart Performance Workout Gear Analyzes Biometrics In Real-Time. *DESIGNBOOM*. URL: <https://www.designboom.com/technology/athos-smart-clothing-performance-gear-08-12-2014/>
78. Avellar L., Frizzera A., Leal-Junior A. POF Smart Pants: a fully portable optical fiber-integrated smart textile for remote monitoring of lower limb biomechanics.

- Biomedical Optics Express*. 2023. Vol. 14, No. 7. P. 3689-3704. DOI: <https://doi.org/10.1364/BOE.492796>
79. Bajzik V., Kyzymchuk O., Ocheretna L., Tunak M., Arabuli A., Levytska D. Hybrid knitted fabric for electromagnetic radiation shielding: thermo-physical properties. *Textile Research Journal*. 2024. Vol. 94, No. 7-8. P. 814-828. DOI: <https://doi.org/10.1177/004051752312187>
80. Banyarani P. B., Tarvirdizadeh B., Hadi A. Design and fabrication of a soft wearable robot using a novel pleated fabric pneumatic artificial muscle (pfPAM) to assist walking. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2024. Vol. 370, 115278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2024.115278>
81. Behr O. Fashion 4.0–digital innovation in the fashion industry. *Journal of technology and innovation management*. 2018. Vol. 2, No. 1. P. 1-9. URL: https://www.researchgate.net/profile/Oliver-Behr/publication/326263764_Fashion_40_-_Digital_Innovation_in_the_Fashion_Industry/links/5b42c406aca2728a0d654062/Fashion-40-Digital-Innovation-in-the-Fashion-Industry.pdf
82. Berzowska J., Laflamme A. M. PLEET: Light-emitting electronic garment. *Fashion Practice*. 2011. Vol. 3, No. 1. P. 11-28. DOI: <https://doi.org/10.2752/175693811X12925927156974>
83. Bhagwati S., Cossette I., Berzowska J., Basanta A., Stein J., Browne J. et al. Musicking the body electric. Proceedings of the *International Conference on Technologies for Music Notation and Representation*. 2016.
84. Blanckart L., Munasinghe E. A., Bendt E., Rahaman A., Abomohra A., Mahltig B. Algae-based coatings for fully bio-based and colored textile products. *Textiles*. 2025. Vol. 5, No 1, 3. DOI: <https://doi.org/10.3390/textiles5010003>
85. Boucher F. 20,000 Years of Fashion: The History of Costume and Personal Adornment. New York: Harry N. Abrams, 1967. 441 p. URL: https://books.google.com.ua/books/about/20_000_Years_of_Fashion.html?id=WT0NAQAAMAAJ&redir_esc=y

86. Briedis U., Vališevskis A., Ziemele I., Abele I. Study of durability of conductive threads used for integration of electronics into smart clothing. *Key Engineering Materials*. 2019. Vol. 800. P. 320-325. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.800.320>
87. Brincat C. Smart Shirt Tracks Workouts – and Goes Straight to the Wash Researchers used conductive thread to make a laundry-friendly smart garment. *IEEE Spectrum*. URL: <https://spectrum.ieee.org/smart-clothing-cornell>
88. Brogan C. Wearable sensors styled into t-shirts and face masks. *Imperial College London*. URL: <https://www.imperial.ac.uk/news/239891/wearable-sensors-styled-into-t-shirts-face/>
89. Buehler W. J., Gilfrich J. V., Wiley R. C. Effect of low-temperature phase changes on the mechanical properties of alloys near composition TiNi. *Journal of applied physics*. 1963. Vol. 34, No. 5. P. 1475-1477. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1729603>
90. Burnstine A. The Sixth Sense Garment: A State-of-the-Art Framework for Sustainable Neurofashion. Preprints. 2025. DOI: <https://doi.org/10.20944/preprints202508.1131.v1>
91. Burton and Apple Deliver the Burton Amp Jacket. *Apple*. URL: <https://www.apple.com/newsroom/2003/01/07Burton-and-Apple-Deliver-the-Burton-Amp-Jacket/>
92. Butcher M. Siren secures strategic funding for its socks that detect diabetic foot ulcers. *TechCrunch*. URL: <https://techcrunch.com/2025/01/08/sirens-smart-sock-for-diabetics-secures-strategic-funding-round/>
93. Cai A., Abdali Z., Saldanha D. J., Aminzare M., Dorval Courchesne N. M. Endowing textiles with self-repairing ability through the fabrication of composites with a bacterial biofilm. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13, No. 1, 11389. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38501-2>
94. Catapult Vector. *Perform Better*. URL: <https://performbetter.co.uk/products/catapult-vector>

95. CEN/TR 17945:2023. Textiles and textile products – Textiles with integrated electronics and ICT – Definitions, categorisation, applications and standardisation needs. Brussels : European Committee for Standardization (CEN), 2023. 47 p. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/66977/fa368990dcce429ba6d831604a60f806/SIST-TP-CEN-TR-17945-2023.pdf>
96. CES 2020: Xenoma’s smart pajamas are a must-have for the elderly. *hi INDiA*. URL: <https://hiindia.com/ces-2020-xenomas-smart-pajamas-are-a-must-have-for-the-elderly/>
97. Chameleon® Chemical Detection Armband. *Morphix Technologies*. URL: <https://morphitec.com/products/chameleon-armband>
98. Chang R. I., Lee C. Y., Hung Y. H. Cloud-based analytics module for predictive maintenance of the textile manufacturing process. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 21, 9945. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11219945>
99. Chatterjee Rh. Introducing Jacquard. *Medium*. URL: <https://medium.com/e-textile-hacking/jacquard-the-jacket-81e1d85e662d>
100. Cheng T., Xiang Y., He X., Pang J., Zhu W., Luo L., Cao Y., Pei R. Nanostructured conductive polymers: synthesis and application in biomedicine. *Journal of Materials Chemistry B*. 2025. Vol. 13, No. 16. P. 4739-4769. DOI: <https://doi.org/10.1039/D4TB02513J>
101. Cho G. Smart clothing: technology and applications. CRC press. 2009. [Smart Clothing Technology and Applicatio.pdf](#)
102. Chunyan Q. I. U., Hu, Y. The review of smart clothing design research based on the concept of 3F+ 1I. *International Journal of Business and Social Science*. 2015. Vol. 6, No. 1. P. 199-208. URL: https://ijbssnet.com/journals/Vol_6_No_1_Januaryr_2015/22.pdf
103. Chuprina N. V., Krotova T. F., Pashkevich K. L., Kara-Vasylieva T. V., Kolosnichenko M. V. (2020). Formation of fashion system in the XX–the beginning of the XXI century. *Vlákna a textil*. 2020. Vol. 4, No. 27. P. 48-57. URL: http://vat.ft.tul.cz/2020/4/VaT_2020_4_7.pdf

104. Cleary F., Srisa-an W., Henshall D. C., Balasubramaniam S. Dynamic Field-Programmable Logic-Driven Soft Exosuit. *IEEE Sensors Journal*. 2023. Vol. 23, No. 10. P. 10935-10949. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.08365>
105. Clever clothes: Seams in clothing can capture body movement. *University of Bath*. URL: <https://www.bath.ac.uk/announcements/clever-clothes-seams-in-clothing-can-capture-body-movement/>
106. Collins C. C. On mobility aids for the blind. In *Electronic spatial sensing for the blind: Contributions from perception, rehabilitation, and computer vision* / eds. D. H. Warren, E. R. Strelow. Dordrecht: Springer Netherlands, 1985. P. 35-64. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-017-1400-6_4
107. Dangerfield M. I., Ward K., Davidson L., Adamian M. Initial experience and usage patterns with the owlet smart sock monitor in 47,495 newborns. *Global Pediatric Health*. 2017. Vol. 4, 2333794X17742751. DOI: <https://doi.org/10.1177/2333794X17742751>
108. Dejene B. K. The future of fabric: A comprehensive review of self-powered smart textiles and their emerging applications. *Energy Reports*. 2025. Vol. 14. P. 898-943. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2025.07.002>
109. Deliver on Consistency, Reliability and Quality. *IPC Standards*. URL: <https://www.electronics.org/ipc-standards>
110. Di Giulio A., Fuchs D. Sustainable consumption corridors: Concept, objections, and responses. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*. 2014. Vol. 23, No. 3. P. 184-192. DOI: <https://doi.org/10.14512/gaia.23.S1.6>
111. Dias T., Monaragala R. Development and analysis of novel electroluminescent yarns and fabrics for localized automotive interior illumination. *Textile Research Journal*. 2012. Vol. 82, No. 11. P. 1164-1176. DOI: <https://doi.org/10.1177/0040517511420763>
112. Dias T., Monaragala R.M. Electro-luminant Fabric Structures. US2010003496, 7 January 2010. URL: <https://patents.google.com/patent/US20100003496A1/en>

113. Doe J. , Smith A. Smart Textile System for Monitoring and Adaptive Response. US 20260026579A1, 08 January 2026. URL: <https://patents.google.com/patent/US20260026579A1/en>
114. Dong K., Wu Z., Wang Z. L. Fiber/Fabric-Based Piezoelectric and Triboelectric Nanogenerators for Flexible/Stretchable and Wearable Electronics and Artificial Intelligence. *Advanced Materials*. 2019. Vol.32, No. 5. 1902549. DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.201902549>
115. Dulal M., Afroj S., Ahn J., Cho Y., Carr C., Kim I. D., Karim N. Toward sustainable wearable electronic textiles. *ACS nano*. 2022. Vol. 16, No. 12. P. 19755-19788. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsnano.2c07723>
116. Dulal M., Afroj S., Islam M. R., Zhang M., Yang Y., Hu H., Novoselov K., Karim N. Closed-Loop Recycling of Wearable Electronic Textiles. *Small*. 2024. Vol. 20, No. 50, 2407207. P. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1002/sml.202407207>
117. Dulal M., Modha H. R. M., Liu J., Islam M. R., Carr C., Hasan T., Thorn R. M. S., Afroj S., Karim N. Sustainable, wearable, and eco-friendly electronic textiles. *Energy & Environmental Materials*. 2025. Vol. 8, No. 3, e12854. DOI: <https://doi.org/10.1002/eem2.12854>
118. Dutch Short Track Skaters Sjinkie Knegt and Suzanne Schulting Have a Secret Weapon for the Upcoming Olympic Winter Games PyeongChang 2018. *Samsung Newsroom*. URL: <https://news.samsung.com/global/dutch-short-track-skaters-sjinkie-knegt-and-suzanne-schulting-have-a-secret-weapon-for-the-upcoming-olympic-winter-games-pyeongchang-2018>
119. Ecodesign for Sustainable Products Regulation. *European Commission*. URL: https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/ecodesign-sustainable-products-regulation_en#
120. Electronic Textile and Smart Clothing Market Report: Trends, Forecast and Competitive Analysis to 2031. *Research and Markets*. URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5984853/electronic-textile-smart-clothing-market-report#tag-pos-4>

121. Elhardt C. Detecting exhaustion with smart sportswear. *ETH Zurich*. URL: <https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2023/03/detecting-exhaustion-with-smart-sportswear.html>
122. Enabling technology in clothing to build incredible things. *Funktion**. URL: <https://funktion.tech/>
123. Encyclopedia of World Dress and Fashion / ed. Joanne B. Eicher. Oxford : Berg Publishers, 2010. 10 vols. https://archive.org/details/encyclopediaofwo0000unse_x3q0
124. Engineered for your body. *Myovolt*. URL: <https://myovolt.com/wearable-vibration-therapy>
125. E-textiles & Smart Clothing Market - Global Forecast 2026-2032. *Research and Markets*. URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/6120927/e-textiles-and-smart-clothing-market-global#tag-pos-3>
126. E-Textiles and Smart Clothing Market Size, Share and Trends 2025 to 2034. *Precedence Research*. URL: <https://www.precedenceresearch.com/e-textiles-and-smart-clothing-market>
127. EU Ecolabel - Clothing and textiles. *European Commission*. URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/eu-ecolabel/product-groups-and-criteria/clothing-and-textiles_en
128. Fengfan J. Present situation and future development trend of smart clothing. *Journal of Arts and Humanities*. 2017. Vol. 6, No. 8. P. 54-56. URL: <https://theartsjournal.org/index.php/site/article/view/1232>
129. Fernández-Caramés T. M., Fraga-Lamas P. Towards the Internet of smart clothing: A review on IoT wearables and garments for creating intelligent connected e-textiles. *Electronics*. 2018. Vol. 7, No. 12, 405. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics7120405>
130. Fink P. L., Sayem A. S. M., Teay S. H., Ahmad F., Shahariar H., Albarbar A. Development and wearer trial of ECG-garment with textile-based dry electrodes. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2021. Vol. 328, 112784. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.112784>

131. FNDN™ Heated Skin-Fit Base Layer – Unisex. *FNDN*. URL: <https://fndn.com/products/fndn-heated-base-layer-skin-fit>
132. Forget wearables: Future washable smart clothes powered by Wi-Fi will monitor your health. *Purdue University*. URL: <https://www.purdue.edu/newsroom/archive/releases/2021/Q2/forget-wearables-future-washable-smart-clothes-powered-by-wi-fi-will-monitor-your-health.html>
133. Galli V., Sailapu S. K., Cuthbert T. J., Ahmadizadeh C., Hannigan B. C., Menon C. Passive and wireless all-textile wearable sensor system. *Advanced Science*. 2023. Vol. 10, No. 22, 2206665. DOI: <https://doi.org/10.1002/adv.202206665>
134. GER Mood Sweater. *Sensoree*. URL: <https://www.sensoree.com/artifacts/ger-mood-sweater/>
135. Geršak J., Simončič K. N. Clothing classification systems. *Tekstil*. 2022. Vol. 71, No. 3. P. 157-173. URL: <https://www.tekstil.hist.hr/index.php/tekstil/article/view/4780/4781>
136. Ghosh S. From the Land of Innovation: A T-shirt that Decomposes in Six Days Flat. *TEXFASH*. URL: <https://texfash.com/special/from-the-land-of-innovation-a-t-shirt-that-decomposes-in-six-days-flat>
137. Ghulam S. T., Abushammala H. Challenges and opportunities in the management of electronic waste and its impact on human health and environment. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, No. 3, 1837. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15031837>
138. Glogar M., Petrak S., Mahnić Naglič M. Digital technologies in the sustainable design and development of textiles and clothing—a literature review. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 4, 1371. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17041371>
139. Goncu-Berk G. Smart Textiles and Clothing: An Opportunity or a Threat for Sustainability? *Loughborough University. Conference contribution*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.17028/rd.lboro.9724619.v1>

140. Grancarić A. M., Jerković I., Koncar V., Cochrane C., Kelly F. M., Soulat D., Legrand X. Conductive polymers for smart textile applications. *Journal of Industrial Textiles*. 2018. Vol. 48, No. 3. P. 612-642. DOI: <https://doi.org/10.1177/15280837176993>
141. Grant K., Tiles N. Smart Wearable Devices : presentation. *DIN (Deutsches Institut für Normung)*. 2016. URL: <https://www.din.de/resource/blob/160444/56136d9f7c1b2d5a6826c844742903db/wearables-data.pdf>
142. Guennes M., Cunha J., Cabral I. Smart Textile Design: A Systematic Review of Materials and Technologies for Textile Interaction and User Experience Evaluation Methods. *Technologies*. 2025. Vol. 13, No. 6, 251. DOI: <https://doi.org/10.3390/technologies13060251>
143. Gurova O., Merritt T. R., Papachristos E., Vaajakari J. Sustainable solutions for wearable technologies: mapping the product development life cycle. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, No. 20, 8444. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12208444>
144. Gwilt A. Producing sustainable fashion: the points for positive intervention by the fashion designer. *Shaping Sustainable Fashion: Changing the Way We Make and Use Clothes* / ed. A. Gwilt, T. Rissanen. London : Earthscan, 2011. P. 59-74. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203126172-9>
145. H.E.A.T. ONE-LAYER. *H.E.A.T.* URL: <https://heatinc.com/pages/one-layer-garment>
146. Halfacree G. SeamPose Turns Shirt Seams Into Smart, Wireless Capacitive Sensors for Pose Estimation. *Hackster*. URL: <https://www.hackster.io/news/seampose-turns-shirt-seams-into-smart-wireless-capacitive-sensors-for-pose-estimation-a828f5bbeaba>
147. Hampson M. Dress Smart: This T-Shirt Senses Breathing Problems Prototype garment provides wireless, real-time monitoring of a wearer's respiratory patterns. *IEEE Spectrum*. URL: <https://spectrum.ieee.org/smart-clothes-breath-monitor>

148. Hanlon M. Bluetooth MP3 Snowboarding Jacket from O'Neill. *New Atlas*. URL: <https://newatlas.com/bluetooth-mp3-snowboarding-jacket-from-oneill/2520/>
149. Health Monitoring SmartTex Shirt Provides Data for Long-term Aerospace Missions. *NAUMD*. URL: <https://naumd.com/health-monitoring-smarttex-shirt-provides-data-for-long-term-aerospace-missions/>
150. Heart Rate T-shirt & ECG T-shirt. *R&B Bldg*. URL: <https://www.rbglo.com/heart-rate-t-shirt-ecg-t-shirt/>
151. HeiQ and GQ Apparel bring biobased cooling to denim in Thailand. *HeiQ*. URL: <https://www.heiq.com/news/heiq-and-gq-apparel-bring-biobased-cooling-to-denim-in-thailand/>
152. Hexoskin Smart Kit - Men's. *Hexoskin*. URL: <https://hexoskin.com/collections/kits/products/hexoskin-smart-kit-mens>
153. Hi-Fructose: New Contemporary Fashion / ed. A. Owens. Cernunnos, 2019. P. 296. <https://designbook.com.ua/book/hi-fructose-new-contemporary-fashion-12885>
154. High-tech vest monitors lung function. *Fraunhofer*. URL: <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2022/august-2022/high-tech-vest-monitors-lung-function.html>
155. Hi-tech marries fashion. *Gainesville*. URL: <https://www.gainesville.com/story/news/2004/08/16/hi-tech-marries-fashion/31674186007/>
156. Holnicki-Szulc J., Motylewski J., Kołakowski P. Introduction to Smart Technologies. *Smart Technologies for Safety Engineering* / ed. J. Holnicki-Szulc. Chichester : John Wiley & Sons, 2008. P. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470758595.ch1>
157. Hongu T., Phillips G. O. *New Fibers*. 2nd ed. Cambridge : Woodhead Publishing, 1997. 257 p. DOI: <https://doi.org/10.1533/9781855737570>
158. Hou C., Wang H., Zhang Q., Li Y., Zhu M. Highly conductive, flexible, and compressible all-graphene passive electronic skin for sensing human touch.

- Advanced Materials (Deerfield Beach, Fla.)*. 2014. Vol. 26, No. 29. P. 5018-5024. DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.201401367>
159. How Adobe's Project Primrose and Christian Cowan created a runway showstopper for NY Fashion Week. *Adobe Research*. URL: <https://research.adobe.com/news/how-adobes-project-primrose-and-christian-cowan-created-a-runway-showstopper/>
160. Huang C. Dressed for medical success. *Hospital Healthcare*. URL: <https://www.hospitalhealth.com.au/content/technology/article/dressed-for-medical-success-1469137479>
161. Huang R., Yan Y. Review of Research Status and Development Expectation of Health Smart Clothing. *Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management* / ed. V.G. Duffy. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. P. 70-86. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-61063-9_5
162. Hughes-Riley T., Dias T., Cork C. A historical review of the development of electronic textiles. *Fibers*. 2018. Vol. 6, No. 2, 34. DOI: <https://doi.org/10.3390/fib6020034>
163. Huseien G. F., Shah K. W., Sam A. R. M. Sustainability of nanomaterials based self-healing concrete: An all-inclusive insight. *Journal of Building Engineering*. 2019. Vol. 23. P. 155-171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.01.032>
164. Imbesi S., Scataglini S. A user centered methodology for the design of smart apparel for older users. *Sensors*. 2021. Vol. 21, No. 8, 2804. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21082804>
165. Industrial Fabrics Association International (IFAI). *PIA*. URL: <https://www.pia.com/member/industrial-fabrics-association-international-ifai/>
166. Infinity Mirror Dress with an LED Screen _N16. *ETERESHOP*. URL: <https://www.etereshop.com/product/infinity-mirror-dress-with-an-led-screen/>
167. Intelligent Apparel. *FashionUnited*. URL: <https://fashionunited.uk/news/fashion/intelligent-apparel/2004102037145>

168. Intelligent soft robotic clothing for automatic thermal adaptation in extreme heat. *PolyU Academy for Interdisciplinary Research*. URL: <https://www.polyu.edu.hk/pair/publications/issue-12/ra02---intelligent-soft-robotic-clothing-for-automatic-thermal-adaptation-in-extreme-heat/>
169. Interactive fashion. Haute couture. Ready to wear. *CuteCircuit*. URL: <https://cutecircuit.com/haute-couture/>
170. Islam T., Repon M. R., Salma U. K., Haji A., Hosen M. I., Rahman M., Shuva I. B., Islam, M. T. A roadmap study of wearable electronic textile materials: a comprehensive review. *Advanced Composites and Hybrid Materials*. 2025. Vol. 8, No. 431. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42114-025-01419-6>
171. ISO 8373:2021. Robotics – Vocabulary. Geneva : International Organization for Standardization, 2021. 22 p. URL: <https://www.iso.org/standard/75539.html>
172. ISO/IEC 20546:2019. Information technology – Big data – Overview and vocabulary. Geneva : International Organization for Standardization ; International Electrotechnical Commission, 2019. 12 p. URL: <https://www.iso.org/standard/68305.html>
173. ISO/IEC 20924:2024. Internet of Things (IoT) and digital twin – Vocabulary. Geneva : International Organization for Standardization ; International Electrotechnical Commission, 2024. 10 p. URL: <https://www.iso.org/standard/88799.html>
174. ISO/IEC 22123-1:2023. Information technology – Cloud computing. Geneva : International Organization for Standardization ; International Electrotechnical Commission, 2023. 18 p. URL: <https://www.iso.org/standard/82758.html>
175. ISO/TR 23383:2020. Textiles and textile products – Smart (Intelligent) textiles – Definitions, categorisation, applications and standardization needs. Geneva : International Organization for Standardization, 2020. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/75383/366139b2b53b4103bc7a0d70f5dd9faf/ISO-TR-23383-2020.pdf>
176. ISPO 2022: Kuraray presents several new high-tech materials for sportswear. *Kuraray Europe*. URL:

- <https://www.kuraray.eu/company/media/singleview/ispo-2022-kuraray-presents-several-new-high-tech-materials-for-sportswear>
177. ISPO Award Winner 2023: Haglöfs Spitz Down Hood Jacket. *ISPO*. URL: <https://www.ispo.com/news-article/promotion/ispo-award-winner-2023-hagloefs-spitz-down-hood-jacket>
178. Iype J. Iga Węglińska's Emotional Clothing responds to bodily stress to encourage mindfulness. *Stir World*. URL: <https://www.stirworld.com/see-features-iga-weglińskas-emotional-clothing-responds-to-bodily-stress-to-encourage-mindfulness>
179. Jansen K. M. How to shape the future of smart clothing. In *Adjunct Proceedings of the 2019 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2019 ACM International Symposium on Wearable Computers* (September 2019). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA. P. 1037–1039. DOI: <https://doi.org/10.1145/3341162.3349571>
180. Jiang S., Stange O., Bätcke F. O., Sultanova S., Sabantina L. Applications of smart clothing – a brief overview. *Communications in Development and Assembling of Textile Products*. 2021. Vol. 2, No. 2. P. 123-140. DOI: <https://doi.org/10.25367/cdatp.2021.2.p123-140>
181. Jothimani K., Hemalatha S., Selvaraj S., Thangarajan R. History of Smart Textiles and Wearables. *Smart Textiles and Wearables for Health and Fitness* / eds. J. Pathak, A. Kumar, S. L. Tripathi, B. Raj. John Wiley & Sons, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781394302895.ch1>
182. Ju N., Lee K. H. Perceptions and resistance to accept smart clothing: moderating effect of consumer innovativeness. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 7, 3211. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11073211>
183. Ju N., Lee K.-H. Consumer resistance to innovation: smart clothing. *Fashion and Textiles*. 2020. Vol. 7, No. 1 (21). P. 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40691-020-00210-z>

184. Jubair H., Mehenaz M.. Bioengineered Smart Textiles: An Analysis of Self-Healing and Adaptive Performance in Sustainable Fabric Technologies. *Authorea*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.22541/au.174231276.67061869/v1>
185. Kan C. W., Lam Y. L. Future trend in wearable electronics in the textile industry. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 9, 3914. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11093914>
186. Kao Y. S., Nawata K., Huang C. Y. An exploration and confirmation of the factors influencing adoption of IoT-based wearable fitness trackers. *International journal of environmental research and public health*. 2019. Vol. 16, No. 18, 3227. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16183227>
187. Karim N., Afroj S., Tan S., Novoselov K. S., Yeates S. All inkjet-printed graphene-silver composite ink on textiles for highly conductive wearable electronics applications. *Scientific reports*. 2019. Vol. 9, No 1. 8035. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44420-y>
188. Keenan T., King R. J. DBusiness Daily Update: Dearborn's Carhartt Launches AI Heated Vest, and More. *DBusiness*. URL: <https://www.dbusiness.com/daily-news/dbusiness-daily-update-dearborns-carhartt-launches-ai-heated-vest-and-more/>
189. Keeping cool at the Olympics. *Textile Media*. URL: <https://www.textilemedia.com/smart-textiles-and-wearables/latest-news/keeping-cool-at-the-olympics/>
190. Kiekens P., Langenhove L. V., Hertleer C. Smart clothing: a new life. *International journal of clothing science and technology*. 2004. Vol. 16(1-2). P. 63-72. DOI: <https://doi.org/10.1108/09556220410520360>
191. Koester A. W., Bryant N. O. Fashion terms and styles for women's garments. Corvallis, Or. : Extension Service, Oregon State University. 1991. URL: https://ir.library.oregonstate.edu/concern/administrative_report_or_publications/b8515n612
192. Köhler A. R. Anticipatory Eco-Design Strategies for Smart Textiles: Perspectives on Environmental Risk Prevention in the Development of an

- Emerging Technology : doctoral thesis. Delft : Delft University of Technology, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4233/uuid:850be7ae-1f9e-4b3f-b49f-242488bab216>
193. Krejčí J., Babiuch M., Suder J., Krys V., Bobovský Z. Internet of robotic things: Current technologies, challenges, applications, and future research topics. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 3, 765. DOI: <https://doi.org/10.3390/s25030765>
194. Kyburz D. Using sound waves to create a smart T-shirt. *ETH Zurich*. URL: <https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2025/05/using-sound-waves-to-create-a-smart-t-shirt.html>
195. Kyzymchuk O., Kyosev Y., Melnyk L., Boll J. The advanced technology for compression garment design. In *XVI-th International Izmir Textile and Apparel Symposium* (25-27 October 2023). IITAS, 2023. P. 114-116. URL: <https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/29879/1/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B82%20%D0%A2%D1%83%D1%80%D1%86%D1%96%D1%8F%20%D0%9C%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf>
196. Kyzymchuk O., Kyosev Y., Melnyk L., Sadretdinova N. The investigation of the geometry changes of body legs with compression stocking in static position. *Communications in Development and Assembling of Textile Products*. 2023. Vol. 4, No. 2. P. 213-221. DOI: <https://doi.org/10.25367/cdatp.2023.4.p213-221>
<https://cdatp.publia.org/cdatp/article/view/129>
197. Kyzymchuk O., Melnyk L., Ryabchykov M. The effect of compression stocking on legs` geometry changes within different movement. Book of proceedings : *AUTEX 2024 World Conference*, May 2024. Liberec : Czech Republic, 2024. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/29877>
<https://test.knutd.edu.ua/handle/123456789/29877>
198. Lawson M. #TechTuesday: A touchscreen on your t-shirt! *Graphene Flagship*. URL: <https://graphene-flagship.eu/materials/news/techtuesday-a-touchscreen-on-your-t-shirt>

199. Le Borgne M., Ximenes P., Le Borgne M. From toxic materials to food-grade materials: A major challenge for battery design – A mini review. *Official Scientific Journal of Faculty of Pharmacy UD*. 2025/ Vol. 2, No. 1. URL: https://www.researchgate.net/publication/395754498_How_can_a_cuttlefish_a_void_running_out_of_fuel
200. Leah Buechley. *Roadtrip Nation*. URL: <https://roadtripnation.com/leader/leah-buechley>
201. Leclerc S. H., Badami M. G. Extended producer responsibility for E-waste management: Policy drivers and challenges. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 251, 119657. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119657>
202. Lee E., Kim I., Liu H., Cho G. Exploration of AgNW/PU nanoweb as ECG textile electrodes and comparison with Ag/AgCl electrodes. *Fibers and Polymers*. 2017. Vol. 18, No. 9. P. 1749-1753. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12221-017-7410-6>
203. Li Q., Xue Z., Wu Y., Zeng X. The status quo and prospect of sustainable development of smart clothing. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No. 2, 990. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14020990>
204. Li Y., Takahashi R., Yukita W., Iwamoto Y., Lee S., Yokota T., Someya T., Kawahara Y. Plug-n-play e-knit: prototyping large-area e-textiles using machine-knitted magnetically-repositionable sensor networks. In *Proceedings of the TEI '25: Nineteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2025. Article No.: 56. P. 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1145/3689050.3705973>
205. Liang D., Yang H., Finefrock S. W., Wu Y. Flexible nanocrystal-coated glass fibers for high-performance thermoelectric energy harvesting. *Nano Letters*. 2012. Vol. 12, No. 4. P. 2140-2145. DOI: <https://doi.org/10.1021/nl300524j>
206. Liu H., Zhou Q., Wang Y., Zhang Q., Cai Z., Jiang G. E-waste recycling induced polybrominated diphenyl ethers, polychlorinated biphenyls, polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzo-furans pollution in the ambient environment.

- Environment International*. 2008. Vol. 34, No. 1. P. 67-72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.07.008>
207. Liu M. The CO2 Dress Detects Carbon Emissions. *Trend Hunter*. URL: <https://www.trendhunter.com/trends/co2-dress>
208. Liu Z., Jin P., Yin Y., Yin F. Mapping the knowledge domains of smart textile: visualization analysis-based studies. *The Journal of the Textile Institute*. 2022. Vol. 113, No. 12. P. 2651-2659. DOI: <https://doi.org/10.1080/00405000.2021.2005278>
209. Liuklian N., Pashkevych K., Proțik B., Petrova O. Smart fashion: connection between haute couture and the newest technology. In: *Creativitate. Tehnologie. Marketing*, Ed. IV, 31 martie 2023, Chișinău. Chișinău: „Tehnica-UTM”, 2023, IV, pp. 23-25. URL: <http://repository.utm.md/handle/5014/24812>
210. Lo T. Y., Su H. H., Ho J. H., Chang C. W., Chen H. R., Hsu H. H., Chang K.-J., Chen J. T. Intrinsic repeated self-healing textiles: developing electrospun fabrics for enhanced durability and stretchability. *ACS omega*. 2024, Vol. 9, No. 52. P. 51623-51630. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c09296>
211. Lopez X., Afrin K., Nepal B. Examining the design, manufacturing and analytics of smart wearables. *Medical Devices & Sensors*. 2020. Vol. 3, No. 3, e10087. DOI: <https://doi.org/10.1002/mds3.10087>
212. Luo H., Xiong Y., Wang S., Tao X. Smart Compression Stockings Driven by Interpretable Unsupervised Deep Learning. *IEEE Sensors Journal*. 2025.
213. Luo H., Xiong Y., Zhu M., Wei X., Tao X. Integrated wearable system for monitoring skeletal muscle force of lower extremities. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 14, 4753. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24144753>
214. Mann S. “Smart clothing”: Wearable Multimedia Computing and “Personal Imaging” to Restore the Technological Balance Between People and Their Environments. *Proceedings of ACM Multimedia* (February 1997). Boston, MA, USA, 1997. P. 163-174. DOI: <https://doi.org/10.1145/244130.244184>
215. Mann S. Smart clothing: The wearable computer and wearcam. *Personal Technologies*. 1997. Vol. 1. P. 21-27.

216. Mann S. Wearable computing: Toward humanistic intelligence. *IEEE intelligent systems*. 2005. Vol. 16, No. 3. P. 10-15.
217. Massey L., de Bruin J., Roberts B. A training system for system maintenance. *Intelligent Tutoring Systems: Lessons Learned* / Psotka J. Massey L., Mutter S. Erlbaum. 1988. URL: https://www.academia.edu/62067630/A_training_system_for_system_maintenance
218. Massi F. D. O., Reis N. F., Santos A. D. Environmental Impacts and Challenges of Smart Clothing: A Review from the Life Cycle. *Mix Sustentável. Florianópolis*. 2024. Vol.10, No. 4. P. 201-214. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n4.201-214>
219. Matushek C. History of Super Absorbent Polymer Chemistry. *M² Polymer Technologies*. URL: <https://m2polymer.com/2019/02/history-of-super-absorbent-polymer-chemistry>
220. Melnyk L., Halavska L., Mikučionienė D., Dudnyk I. Assortment and Manufacturing Methods of Stump Socks. Proceedings of "11th International Young Researchers Conference" *INDUSTRIAL ENGINEERING 2024—from Zero to Hero*". Kaunas : KTU, 2024. P. 129–131. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/29853>
221. Men's Classic Heated Vest – Black. *ORORO Wear*. URL: <https://www.ororowear.com/products/men-heated-vest-black>
222. Muglia H. A., Refeld J., Eiselt H. Generator Device for Converting Motion Energy of Person's Respiration into Electrical Energy is Integrated into Clothing Item Normally Arranged at One or More Positions on Person that Undergoes Change in Dimensions during Respiration. DE10340873, 28 April 2005.
223. Muhammad Sayem A. S., Hon Teay S., Shahariar H., Luise Fink P., Albarbar A. Review on smart electro-clothing systems (SeCSs). *Sensors*. 2020. Vol. 20, No. 3, 587. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20030587>

224. New smart jacket uses AI to prevent overheating and discomfort. *TechXplore*.
URL: https://techxplore.com/news/2025-02-smart-jacket-ai-overheating-discomfort.html#google_vignette
225. NRVL D × Art Basel: connected apparel experience. *Avery Dennison Apparel Solutions*. URL: <https://apparelsolutions.averydennison.com/en/perspectives/nrvld-art-basel>
226. O’Neill GIS Technology. *Tech-Wear*. URL: <http://www.tech-wear.co.uk/web/ONeillGIS.php>
227. Oleniacz L. Researchers Eye Embroidery as Low-Cost Solution for Making Wearable Electronics. *News NC State University*. URL: <https://news.ncsu.edu/2022/11/researchers-eye-embroidery-as-low-cost-solution-for-making-wearable-electronics/>
228. Ometov A., Shubina V., Klus L., Skibińska J., Saafi S., Pascacio P., et al. A survey on wearable technology: History, state-of-the-art and current challenges. *Computer Networks*. 2021. Vol. 193, 108074. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108074>
229. O’Neill Nav Jacket. *Method*. URL: <https://www.methodmag.com/products/outerwear/oneill-nav-jacket.html>
230. Peshock A., Duvall J., Dunne L. E. Argot: A wearable one-handed keyboard glove. Proceedings of the 2014 ACM international symposium on wearable computers: adjunct program (September 2014). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA. P. 87-92. DOI: <https://doi.org/10.1145/2641248.2641266>
231. Petrak S. Digital fashion innovation and sustainability. In Proceedings of the RIM 2023: *Electronic proceedings of 14th International Scientific Conference on Manufacturing Engineering “DEVELOPMENT AND MODERNIZATION OF MANUFACTURING”*. Bihać: University of Bihać, Faculty of Technical Engineering, 2023. P. 251-266. URL: <https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/prilog-skup/807884>

232. Phase Change Materials. *Textile World*. URL: <https://www.textileworld.com/textile-world/features/2004/03/phase-change-materials/>
233. Pigott P. AI: Stroke patient helped to walk by high-tech trousers. *BBC News*. URL: <https://www.bbc.com/news/uk-wales-66311632>
234. Poluchovich I., Zakharkevich O., Kuleshova S., Koshevko J., Shvets G., Shvets A. Analysis of the smart clothing technologies in dance costume designing. *Proceedings of the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (January 2021). IOP Publishing, 2021, Vol. 1031, No. 1. P. 012032. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1031/1/012032>
235. Poongodi T., Krishnamurthi R., Indrakumari R., Suresh P., Balusamy B. Wearable Devices and IoT. In: *A Handbook of Internet of Things in Biomedical and Cyber Physical System. Intelligent Systems Reference Library* / eds. V. Balas, V. Solanki, R. Kumar, M. Ahad. Cham: Springer International Publishing, 2019. P. 245-273. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23983-1_10
236. Popat K. A., Sharma P. Wearable computer applications a future perspective. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*. 2013. Vol. 3, No. 1. P. 213-217. URL: https://www.researchgate.net/profile/Kalpesh-Popat/publication/284588307_Wearable_computer_applications_a_future_perspective/links/5c0ded63a6fdcc494fe888bd/Wearable-computer-applications-a-future-perspective.pdf
237. Previous generation HOWDY BREATH – Continuous monitoring of breathing. *ComfTech*. URL: <https://comftech.com/en/project/howdy-breath/>
238. Process Transforms Clothing into Biosensors. *Media Design Briefs*. URL: <https://www.medicaldesignbriefs.com/component/content/article/40337-process-transforms-clothing-into-biosensors>
239. Pu J., Ma K., Luo Y., Tang S., Liu T., Liu J., Leung M., Yang J., Hui R., Xiong Y., Tao X. Textile electronics for wearable applications. *International Journal*

- of *Extreme Manufacturing*. 2023. Vol. 5, No. 4, 042007. DOI: <https://doi.org/10.1088/2631-7990/ace66a>
240. Questions and Answers on EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles. *European Commission*. 2022. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_22_2015
241. Quinn B. *Techno Fashion*. Oxford; New York: Bloomsbury Publishing (Berg Publishers), 2002. 240 p.
242. Ramlow H., Andrade K. L., Immich A. P. S. Smart textiles: an overview of recent progress on chromic textiles. *The journal of the textile institute*. 2021. Vol. 112, No. 1. P. 152-171. DOI: <https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1785071>
243. Real-Time Insights to Keep Firefighters Safe and Mission-Ready. *Wearin'*. URL: <https://wearin.tech/firefighters-smart-safety/>
244. Remington C. Nike files for smart garment patents. *T.Evo News*. URL: <https://www.tevonews.com/functional-apparel-news/1752-nike-files-for-smart-garment-patents>
245. Revolutionize your Supply Chain forever. *Softwear Automation*. URL: <https://softwearautomation.com/sewbots/>
246. Rey S. 'AI t-shirt' could improve heart monitoring and treatment. *Imperial College London*. URL: <https://www.imperial.ac.uk/news/259453/ai-t-shirt-could-improve-heart-monitoring/>
247. Riabchykov M., Nazarchuk L. Creation of smart elements of clothing using magnetic textiles. Proceedings of the *Creativitate. Tehnologie. Marketing* (31 March 2023). Chişinău: „Tehnica-UTM”, 2023, IV. Vol. 4. P. 163-167. URL: https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/191812
248. Riabchykov M., Nazarchuk L., Tkachuk O., Stytsyuk V. Creation of smart compression garment using magnetic nanotextiles. *Research Journal of Textile and Apparel*. 2024. Vol. 28, No. 4. P. 765-781. DOI: <https://doi.org/10.1108/RJTA-08-2022-0095>

249. Riabchykov M., Tkachuk O., Nazarchuk L., Alexandrov A. Conditions for the open pores formation in medical textile materials for the treatment of wounds using iron oxide nanopowders. *Materials Research Express*. 2023. Vol. 10, No. 1, 015401. DOI: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/acadcf>
250. Ruckdashel R. R., Venkataraman D., Park J. H. Smart textiles: A toolkit to fashion the future. *Journal of Applied Physics*. 2021. Vol. 129, No. 13. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0024006>
251. Rudolf A., Stjepanović Z., Kuharič M. Consumers' knowledge and acceptance of smart clothing. *Communications in Development and Assembling of Textile Products*. 2020. Vol. 3, No. 2. P. 90-96. DOI: <https://doi.org/10.25367/cdatp.2022.3.p90-96>
252. S-AIRBAG Intelligent Vest S30-Smart Body Airbag Hip Airbag for Elderly Fall Arrest Air Bags. *S-AirBag*. URL: <https://sairbagpro.com/products/intelligent-airbag-protective-clothing-s32?srsId=AfmBOor3Hdi0QQnRjAtvDNvmaC9IYIOj5PbTfqyROcLhiBxP6F9zX8eJ>
253. Salaün F. Smart textile pH sensor based on curcumin microcapsules. *Tekstil ve Mühendis*. 2023. Vol. 30, No. 132. P. 310–317. DOI: <https://doi.org/10.7216/teksmuh.1406050>
254. Saltmarsh A. Smart Dressing: A T-Shirt to Monitor Vital Signs. *MedicalExpo e-Magazine*. URL: <https://emag.medicaexpo.com/smart-dressing-a-t-shirt-to-monitor-vital-signs/>
255. Schischke K., Nissen N. F., Schneider-Ramelow M. Flexible, stretchable, conformal electronics, and smart textiles: Environmental life cycle considerations for emerging applications. *MRS communications*. 2020. Vol. 10, No. 1. P. 69-82. DOI: <https://doi.org/10.1557/mrc.2019.157>
256. Schmitt K. A. A Chemist and a Designer Team Up to Weave Solar Panels Into Fabric. *A Smithsonian magazine special report*. URL: <https://www.smithsonianmag.com/innovation/chemist-designer-team-up-to-weave-solar-panels-into-fabric-180960431/>

257. Schreiner L., Wipprecht A., Olyanasab A., Sieghartsleitner S., Pretl H., Guger C. Brain-computer-interface-driven artistic expression: real-time cognitive visualization in the pangolin scales animatronic dress and screen dress. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2025. Vol. 19, 1516776. URL: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1516776>
258. Schulz M. Adobe's AI-enhanced dress speaks to 'smart' fashion's bigger problem. *Vogue*. URL: <https://www.voguebusiness.com/technology/adobes-ai-enhanced-dress-speaks-to-smart-fashions-bigger-problem>
259. Scientists create biodegradable, paper-based biobatteries. *BingUNews*. URL: <https://www.binghamton.edu/news/story/1227/scientists-create-biodegradable-paper-based-biobatteries>
260. Seng K. P., Ang L. M., Peter E., Mmonyi A. Machine learning and AI technologies for smart wearables. *Electronics*. 2023. Vol. 12, No. 7, 1509. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics12071509>
261. Seymour S. Fashionable technology: The intersection of design, fashion, science, and technology. New York: Springer, 2008. 249 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-211-79592-7>
262. Shah M. A., Pirzada B. M., Price G., Shibiru A. L., Qurashi A. Applications of nanotechnology in smart textile industry: A critical review. *Journal of Advanced Research*. 2022. Vol. 38. P. 55-75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2022.01.008>
263. Sharma S., Mohler J., Mahajan S. D., Schwartz S. A., Bruggemann L., Aalinkeel R. Microbial biofilm: a review on formation, infection, antibiotic resistance, control measures, and innovative treatment. *Microorganisms*. 2023. Vol. 11, No. 6, 1614. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061614>
264. Shen C., Chen Y., Huang S., Wang Z., Yu C., Qiao M., Xu Y., Setty K., Zhang J., Zhu Y., Lin Q. Dioxin-like compounds in agricultural soils near e-waste recycling sites from Taizhou area, China: chemical and bioanalytical characterization. *Environment International*. 2009. Vol. 35, No. 1. P. 50-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.07.005>

265. Shi Q., Sun J., Hou C., Li Y., Zhang Q., Wang H. Advanced functional fiber and smart textile. *Advanced Fiber Materials*. 2019. Vol. 1, No. 1. P. 3-31. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42765-019-0002-z>
266. Skrzetuska E., Rzeźniczak P. Circularity of smart products and textiles containing flexible electronics: challenges, opportunities, and future directions. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 6, 1787. DOI: <https://doi.org/10.3390/s25061787>
267. Smart clothes and wearable technology / ed. J. McCann, D. Bryson. Cambridge : Woodhead Publishing, 2009. 492 p. URL: <https://www.sciencedirect.com/book/edited-volume/9781845693572/smart-clothes-and-wearable-technology>
268. Smart Clothing Market - Global Forecast 2026-2032. *Research and Markets*. URL: <https://www.researchandmarkets.com/report/smart-clothing#tag-pos-1>
269. Smart Clothing Market (2026-2033). *Grand View Research*. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/smart-clothing-market-report>
270. Smart Clothing Market Analysis 2026. *Cognitive Market Research*. URL: <https://www.cognitivemarketresearch.com/smart-clothing-market-report>
271. Smart clothing protects builders. *VTT Research*. URL: <https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/smart-clothing-protects-builders>
272. Smart Clothing: Technology and Applications / ed. G. Cho. Boca Raton : CRC Press, 2009. 288 p. URL: <https://www.routledge.com/Smart-Clothing-Technology-and-Applications/Cho/p/book/9781420088526>
273. Smart Clothing: Timeline. *Verdict*. URL: <https://www.verdict.co.uk/smart-clothing-timeline/?cf-view>
274. SMaRT Consensus Sustainable Product Standard. Market Transformation to Sustainability, 2021. URL: http://mts.sustainableproducts.com/SMaRT_product_standard.html

275. Smart dressing monitors patients' wounds. *The Engineer*. URL: <https://www.theengineer.co.uk/content/news/smart-dressing-monitors-patients-wounds>
276. Smart ECG Shirt Monitors Heart Rate Recovery, Predicts Cardiovascular Risk. *EMJ Reviews*. URL: <https://www.emjreviews.com/cardiology/news/smart-ecg-shirt-monitors-heart-rate-recovery-predicts-cardiovascular-risk/>
277. Smart Second Skin. *eScent*. URL: <https://www.escent.ai/smartsecondskin>
278. 'Smart' story-telling pajamas invented by father of 6. *TODAY*. URL: <https://www.today.com/money/smart-story-telling-pajamas-invented-father-6-6c9599942>
279. Smart Technologies: Scope and Applications / eds. K. B. Akhilesh, Dietmar P. F. Möller. Singapore : Springer Singapore Pte Ltd., 2020. 405 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-7139-4>
280. Smart Textiles. BAE Systems to start production of its next generation connected clothing. *Innovation in Textiles*. URL: <https://innovationintextiles.com/bae-systems-to-start-production-of-its-next-generation-connected-clothing/>
281. Smart Textiles. Bringing personalised health to Canada. *Innovation in Textiles*. URL: <https://innovationintextiles.com/bringing-personalised-health-to-canada/>
282. Smart T-Shirt supports early discharge after urological cancer surgery. *Medica Tradefair*. URL: <https://www.medica-tradefair.com/en/media-news/spheres-of-medica-magazine/digital-health/smart-t-shirt-vital-patient-data>
283. SMB/6937/R. Wearable electronic devices and technologies.. IEC, 2019. 13 p. URL: <https://www.iec.ch/public/miscfiles/sbp/124.pdf>
284. Sneature. *German Design Graduates*. URL: <https://germandesigngraduates.com/sneature/>
285. Soukup R., Blecha T., Hamacek A., Reboun J. Smart textile-based protective system for firefighters. In Proceedings of the *5th Electronics System-integration Technology Conference (ESTC)* (September 2014). IEEE, 2014. P. 1-5. URL:

- https://www.researchgate.net/publication/286491846_Smart_textile-based_protective_system_for_firefighters
286. Soundshirt. World`s best wearable haptics. *CuteCircuit*. URL: <https://cutecircuit.com/soundshirt/>
287. Sousa A. F., Patrício R., Terzopoulou Z., Bikiaris D. N., Stern T., Wenger J., et al. Recommendations for replacing PET on packaging, fiber, and film materials with biobased counterparts. *Green Chemistry*. 2021. Vol. 23, No. 22. P. 8795-8820. DOI: <https://doi.org/10.1039/D1GC02082J>
288. Srivastav A. L., Markandeya, Patel N., Pandey M., Pandey A. K., Dubey A. K., Kumar A., Bhardwaj A. K., Chaudhary V. K. Concepts of circular economy for sustainable management of electronic wastes: challenges and management options. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30, No. 17. P. 48654-48675. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26052-y>
289. Starr M. Tommy Hilfiger launches solar power jackets to charge your phone. *CNET*. URL: <https://www.cnet.com/news/tommy-hilfiger-launches-solar-power-jackets-to-charge-your-phone/>
290. Sucharitha G., Tannmayee B., Dwarakamai K. Revolution in IoT: Smart Wearable Technology. *Internet of Things and Its Applications* / eds. S. Nandan Mohanty, J. M. Chatterjee, S. Satpathy. Cham : Springer International Publishing, 2021. P. 407-425. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-77528-5_21
291. Suh M., Carroll K. E., Cassill N. L. Critical review on smart clothing product development. *Journal of textile and apparel, technology and management*. 2010. Vol. 6, No. 4. P. 1-18. URL: <https://jtatm.textiles.ncsu.edu/index.php/JTATM/article/view/702>
292. SUPA. *MOVESENSE*. URL: <https://www.movesense.com/showcase/supa/>
293. Sustainable e-textiles: Biodegradable wearables can monitor health and reduce waste. *TechXplore*. URL: <https://techxplore.com/news/2025-01-sustainable-textiles-biodegradable-wearables-health.html>

294. Syduzzaman M. D., Patwary S. U., Farhana K., Ahmed, S. Smart textiles and nano-technology: a general overview. *Journal of Textile Science & Engineering*. 2015. Vol. 5, No. 1. P. 1-7. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/48f2/197f9f6fec5c834b35e58721c4cfb63f7550.pdf>
295. Szewczyk P. K., Busolo T., Kar-Narayan S., Stachewicz U. Wear-resistant smart textiles using nylon-11 triboelectric yarns. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2023. Vol. 15, No. 48. P. 56575-56586.
296. Tang C., Yi W., Xu M., Jin Y., Zhang Z., Chen X., et al. A deep learning-enabled smart garment for accurate and versatile monitoring of sleep conditions in daily life. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2025. Vol. 122, No. 7, e2420498122. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2420498122>
297. Tang C., Yi W., Zhang Z., Occhipinti E., Occhipinti L. G. AI-driven smart sportswear for real-time fitness monitoring using textile strain sensors. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2025. Vol. 73, No. 2. P. 555-565. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/11079294>
298. Teslasuit Dev Kit. *Teslasuit*. URL: <https://teslasuit.io/products/teslasuit-4/>
299. Textile Media Services. URL: <https://www.textilemedia.com/>
300. The Crying Dress. *KOBAKANT*. URL: <https://www.kobakant.at/?p=222>
301. The Millisecond That Could Change Cancer Treatment. FLASH therapy uses a precise burst of ultrahigh-power radiation to kill tumors and spare healthy tissue. *IEEE Spectrum*. URL: <https://spectrum.ieee.org/>
302. Törneholm A. Your clothes will soon be extra muscles. *Li.U. Linköping University*. URL: <https://liu.se/en/news-item/snart-blir-dina-klader-extramuskler>
303. Tortora P. G. *Dress, Fashion, and Technology: From Prehistory to the Present*. London : Bloomsbury Academic, 2015. 245 p.
304. Tortora P. G. *Survey of historic costume: a history of Western dress*. New York : Fairchild Publications, 1998. 556 p.

305. Towers O. Smart Clothing, Fashion Tech, and What That Means for Your Kid. *Medium*. URL: <https://medium.com/@wiggly/smart-clothing-fashion-tech-and-what-that-means-for-your-kid-dbb1d7d197b0>
306. Tricomi E., Missiroli F., Xiloyannis M., Lotti N., Zhang X., Stefanakis M., et al. Soft robotic shorts improve outdoor walking efficiency in older adults. *Nature Machine Intelligence*. 2024. Vol. 6, No. 10. P. 1145-1155. URL: <https://doi.org/10.1038/s42256-024-00894-8>
307. Tsai T. H., Lee L. R., Fan Y. C., Wei R. Y., Chang C. W., Lin H. W., et al. Achieving Intrinsically Self-Healing Fabrics with Breathability, Surface Self-Repairing, and Underwater Adhesion via Nanoparticle-Polymer Gel Synergistic Coatings. *Small*. 2025. Vol. 21, No. 32, 2505120. DOI: <https://doi.org/10.1002/sml.202505120>
308. Tu C., Niu L., Cui R., Liu K. Phonetic smart clothing design based on gender awareness education for preschoolers. *AUTEX Research Journal*. 2024. Vol. 24, No. 1, 20230021. DOI: <https://doi.org/10.1515/aut-2023-0021>
309. Tunakova V., Tunak M., Bajzik V., Ocheretna L., Arabuli S., Kyzymchuk O., Vlasenko V. (2020). Hybrid knitted fabric for electromagnetic radiation shielding. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2020. No. 15, 1558925020925397. DOI: <https://doi.org/10.1177/1558925020925397>
310. Tyler D., Wood J., Sabir T., McDonnell C., Sayem A. S. M., Whittaker, N. Wearable electronic textiles. *Textile Progress*. 2019. Vol. 51, No. 4. P. 299-384. DOI: <https://doi.org/10.1080/00405167.2020.1840151>
311. Tzafestas S. G. Synergy of IoT and AI in modern society: The robotics and automation case. *Robotics and Automation Engineering Journal*. 2018. Vol. 31, No 5. P. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.19080/RAEJ.2018.03.555621>
312. Ugbolue S. C., Kim Y. K., Warner S. B., Fan Q., Yang C. L., Kyzymchuk O., Feng Y. The formation and performance of auxetic textiles. Part I: theoretical and technical considerations. *The Journal of the Textile Institute*. 2010. Vol. 101, No. 7. P. 660-667. DOI: <https://doi.org/10.1080/00405000902733790>

313. Ugbolue S. C., Kim Y. K., Warner S. B., Fan Q., Yang C. L., Kyzymchuk O. Auxetic fabric structures and related fabrication methods. US 8772187B2, 08 July 2014. URL: <https://patents.google.com/patent/US8772187B2/en>
314. Understanding the Four Main Types of Internet of Things (IoT). *Metana*. URL: <https://metana.io/blog/four-types-of-iot/>
315. Vibrating vests translate music for deaf concertgoers. France 24. URL: <https://www.france24.com/en/live-news/20230727-vibrating-vests-translate-music-for-deaf-concertgoers>
316. Vlasenko V., Smertenko P., Bereznenko S., Arabuli S., Kucherenko V. Synthesis of metals nano-particles in the porous structure of textiles for UV-shielding. *Vlákna a textil*. 2017. Vol. 24, No. 4. P. 30-33.
317. Vollebak's New Color-Shifting 'Firefly' Jacket Glows in Orange by Day and Yellow-Green at Night. DESIGNBOOM. URL: <https://www.designboom.com/technology/vollebak-firefly-jacket-color-shifting-membranes-03-15-2024/>
318. Wang K., Xu X., Zheng Y., Zhou D., Guo S., Qin Y., Guo X. Computational design of wiring layout on tight suits with minimal motion resistance.. In Proceedings of the SA '23: *SIGGRAPH Asia 2023 Conference Papers*. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2023. Article No.: 19. P. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1145/3610548.3618200>
319. Wasilewski T., Kamysz W., Gębicki J. AI-assisted detection of biomarkers by sensors and biosensors for early diagnosis and monitoring. *Biosensors*. 2024. Vol. 14, No. 7, 356. P. 1-37. DOI: <https://doi.org/10.3390/bios14070356>
320. Wearable Data Analytics Bring Humans into the IoT. *ABI Research*. URL: <https://www.abiresearch.com/press/wearable-data-analytics-bring-humans-iot>
321. Wearable robotics startup Verve Motion snags \$15M Series A. *PR Newswire*. URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/wearable-robotics-startup-verve-motion-snags-15m-series-a-301334795.html>
322. What Is Smart Technology? *Nanowerk*. URL: <https://www.nanowerk.com/smart/what-is-smart-technology.php>

323. What is Sustainable Fashion? *Green Strategy*. URL: <https://greenstrategy.se/sustainable-fashion-definition/>
324. Wlezien R. W., Horner G. C., McGowan A. M. R., Padula S. L., Scott M. A., Silcox R. J., Harrison J. S. Aircraft morphing program. In *Smart Structures and Materials 1998: Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies* (June 1998). SPIE, 1998. Vol. 3326. P. 176-187. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.310633>
325. Woelfle H., Adeleke O., Dunne L. E. E-Textiles for Jaundice Phototherapy. Proceedings of the *2025 Design of Medical Devices Conference* (28–30 April 2025). Minneapolis, MN, USA. V001T04A004. DOI: <https://doi.org/10.1115/DMD2025-1074>
326. Woelfle H., Adeleke O., Subash N., Golgouneh A., Holschuh B., Dunne L. E. Plug-and-Play Wearables: A Repositionable E-Textile Garment System to Support Custom Fit for Lower-Limb Rehabilitation Applications. Proceedings of the *2023 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing & the 2023 ACM International Symposium on Wearable Computing (UbiComp/ISWC '23 Adjunct)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2023. P. 304–309. DOI: <https://doi.org/10.1145/3594739.3610785>
327. World Commission on Environment and Development. *Our Common Future*. Oxford ; New York : Oxford University Press, 1987. 383 p. URL: <http://www.ask-force.org/web/Sustainability/Brundtland-Our-Common-Future-1987-2008.pdf>
328. Wu D., Zhang R., Zang L. Functional design and development of smart temperature regulating clothing based on artificial intelligence. *Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing*. 2025. Vol. 127A. P. 4241–4255. DOI: <https://doi.org/10.61091/jcmcc127a-240>
329. Xu W., Li T., Wang Y., Yang X.-D., Wu T. BIT: battery-free, IC-less and wireless smart textile interface and sensing system. In Proceedings of the *2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY,

- USA : Association for Computing Machinery, 2025. Article No.: 926. P. 1-18.
DOI: <https://doi.org/10.1145/3706598.3713100>
330. Yadav A., Yadav K. Transforming healthcare and fitness with AI powered next-generation smart clothing. *Discover Electrochemistry*. 2025. Vol. 2, No. 1(2).
DOI: <https://doi.org/10.1007/s44373-025-00015-z>
331. Yang K., Meadmore K., Freeman C., Grabham N., Hughes A. M., Wei Y., et al. Development of user-friendly wearable electronic textiles for healthcare applications. *Sensors*. 2018. Vol. 18, No. 8, 2410. DOI:
<https://doi.org/10.3390/s18082410>
332. Yao L., Ou J., Cheng C.-Y., Steiner H., Wang W., Wang G., Ishii H. bioLogic: Natto Cells as Nanoactuators for Shape Changing Interfaces. Proceedings of the *33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2015. P. 1-10. DOI:
<https://doi.org/10.1145/2702123.2702611>
333. Yin J., Wang S., Di Carlo A., Chang A., Wan X., Xu J., Xiao X., Chen J. Smart textiles for self-powered biomonitoring. *Med-X*. 2023. Vol. 1, No. 3. DOI:
<https://doi.org/10.1007/s44258-023-00001-3>
334. Ying C., Pashkevych K. L., Protsyk B. O. Intelligent wearable technologies in clothing design: modern direction and strategies of development. *Art and Design*. 2023. № 1 (21). C. 25-33. DOI: <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2023.1.2>
335. You Don't Need to Hear the Music to Feel It. *Tactus Music*. URL:
<https://tactusmusic.com/>
336. YouCare is born: the T-shirt that saves lives using 5G is now a reality. *ZTE*. URL: <https://www.zte.com.cn/global/about/news/20210629e3.html>
337. Zakharkevich O., Dik N., Poluchovich I. Analysis of smart clothing range. *Online magazine for Textiles, Clothing, Leather and Technology*. 2020. № 22. P. 166-170.
338. Zakharkevich O., Kuleshova S., Slavinskaya A., Vovk J. Defining the main features of clothing to apply deep learning in apparel design. *Vlakna a Textil*.

2018. Vol. 4. P. 103-109. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/items/a209854e-86f8-449a-821f-456f6c4c4876>
339. Zaman S., Tao X., Cochrane C., Koncar V. Launderability of conductive polymer yarns used for connections of e-textile modules: mechanical stresses. *Fibers and Polymers*. 2019. Vol. 20, No. 11. P. 2355-2366. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12221-019-9325-x>
340. Zaychenko D. Американський екзоскелет TALOS перейшов на стадію збірки. *ROOT NATION*. URL: <https://root-nation.com/ua/news-ua/it-news-ua/ua-talos-exoskeleton-assembly/>
341. Zhai H., Liu J., Liu Z., Li Y. Functional graphene fiber materials for advanced wearable applications. *Advanced Fiber Materials*. 2025. Vol. 7, No. 2. P. 443-468. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42765-025-00512-1>
342. Zhao K. The Devil Wears Pixels: 8 landmark moments in fashion's NFT revolution—and what comes next. *Vogue Singapore*. URL: <https://vogue.sg/fashion-nft-revolution/>
343. Zhu S., Liu X. The Ecodesign Transformation of Smart Clothing: Towards a Systemic and Coupled Social–Ecological–Technological System Perspective. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 5, 2102. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17052102>
344. Žunjić A., Tsaklis P. V., Yue X. G. The relationship between ergonomics, safety and aesthetics in the design of consumer products and systems. *Ergonomic Design and Assessment of Products and Systems*. 2017. P. 1-18. URL: <https://machinery.mas.bg.ac.rs/handle/123456789/2676>
https://www.researchgate.net/publication/326128678_The_relationship_between_ergonomics_safety_and_aesthetics_in_the_design_of_consumer_products_and_systems

ДОДАТКИ ДОДАТОК А

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової та міжнародної
діяльності Київського національного
університету технологій та дизайну
Людмила ГАКУЦАК-СФІМЕНКО



« 12 » грудня 2025 року

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи Люклян Надії Романівни в освітній процес Київського національного університету технологій та дизайну

Комісія у складі декана факультету дизайну, д.т.н., проф. Пашкевич К.Л., завідувача кафедри мистецтва та дизайну костюма, д.мист., проф. Чупріної Н.В., доцента кафедри мистецтва та дизайну костюма, д.філ., доц. Герасименко О.Д. встановила, що результати дисертаційної роботи Люклян Надії Романівни на тему «Смарттехнології в дизайні одягу: еволюція, типологія, сучасні тенденції» впроваджено в освітній процес кафедри мистецтва та дизайну костюма.

Результати дисертаційної роботи використовуються при проведенні лекційних, практичних та лабораторних занять з дисциплін «Текстильний дизайн у виготовленні моделей одягу», «Технології виготовлення одягу», «Художнє моделювання та конструювання одягу», «Фешн-ілюстрація і комп'ютерне проєктування одягу» для студентів спеціальностей 022 Дизайн освітньої програми «Дизайн одягу».

Голова комісії:

д.мист., проф. Чупріна Н.В.

Члени комісії:

д.т.н., проф. Пашкевич К.Л.

д.філ., доц. Герасименко О.Д.



АКТ

**про впровадження результатів дисертаційної роботи
 Люклян Надії Романівни
 на тему «Смарттехнології в дизайні одягу:
 еволюція, типологія, сучасні тенденції»**

Науково-технічна комісія у складі представника ТОВ «Корсунь-Шевченківська швейна фабрика» директора Г. І. Марченка та представників Київського національного університету технологій та дизайну д. т. н., проф. К. Л. Пашкевич, д. мист., проф. Н. В. Чупріної, за участі асп. Н. Р. Люклян склали цей акт про те, що у товаристві проведена перевірка результатів дисертаційної роботи Н. Р. Люклян, виконаної під керівництвом професора кафедри мистецтва і дизайну костюма КНУТД К. Л. Пашкевич.

Результати дисертаційної роботи Н. Р. Люклян передані у вигляді:

- коротких теоретичних відомостей щодо принципів та критеріїв оцінки якості виготовлення смартодягу;
- пропозицій щодо удосконалення етапів дизайн-проектування смартодягу;
- рекомендацій щодо сталого розвитку смартодягу з урахуванням сучасних вимог до екологічності, довговічності та користувацького комфорту.

У результаті апробації встановлено, що запропоновані рекомендації і пропозиції щодо впровадження смарттехнологій у дизайн одягу дозволяють підвищити обґрунтованість проектних рішень, оптимізувати процес розробки виробів, поліпшити їх функціональні та естетичні показники, а також забезпечити врахування вимог екологічності, довговічності та користувацького комфорту. Комісія відзначає, що зазначені положення впроваджено у процес проектування нових моделей одягу.

Голова комісії:

Члени комісії:

Доповідач:

Г. І. Марченко

К. Л. Пашкевич

Н. В. Чупріна

Н. Р. Люклян

ДОДАТОК Б
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ
ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці, в яких опубліковані основні результати дисертації:

1. Люклян Н. Р., Пашкевич К. Л. Сучасні інноваційні рішення для комплексного дизайну смартодягу. *Український мистецтвознавчий дискурс*. 2026. № 1. С. 175-185. DOI: <https://doi.org/10.32782/uad.2026.1.20>
2. Люклян Н., Пашкевич К. Удосконалення естетичних та ергономічних показників в одязі з підгрівом на основі порівняльного аналізу аналогів. *Український мистецтвознавчий дискурс*. 2025. № 5. С. 106–114. DOI: <https://doi.org/10.32782/uad.2025.5.12>
3. Процик Б.О., Герасименко О.Д., Пашкевич К.Л., Люклян Н.Р., Касс Б.В. Аналіз особливостей електронних манекенів і бодісканерів для дизайну та візуалізації одягу. *Теорія та практика дизайну. Культура і мистецтво*. 2024. Вип. 1(31). С. 160–170. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2024.31.19>
4. Процик Б.О., Пашкевич К.Л., Герасименко О.Д., Люклян Н.Р. Напрями використання цифрового одягу в сучасній фешн-індустрії. *Український мистецтвознавчий дискурс*. 2023. № 6. С. 73–81. DOI: <https://doi.org/10.32782/uad.2023.6.9>
5. Пашкевич К.Л., Герасименко О.Д., Єжова О.В., Шмагалю Р.Т., Люклян Н.Р. Українська естетика в дизайні сучасних ювелірних виробів. *Art and Design*. 2023. № 1 (21). С. 143-156. DOI: <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2023.1.14>
6. Колосніченко О.В., Пашкевич К.Л., Остапенко Н.В., Люклян Н.Р., Колосніченко М.В. Проектування адаптивного одягу для пацієнтів лікарень із врахуванням умов його експлуатації. *Art and Design*. 2022. № 3 (19). С. 72-87. DOI: <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2022.3.6>

7. Колосніченко О.В., Пашкевич К.Л., Остапенко Н.В., Скрипченко А.Г., Люклян Н.Р. Аналіз і систематизація різновидів проєктних рішень при виготовленні адаптивного одягу для пацієнтів. *Art and Design*. 2022. № 2 (18). С. 94-107. DOI: <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2022.2.8>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Люклян Н., Пашкевич К., Айлені Р. М., Ірован, М. Етапи дизайн-проєктування одягу з інтеграцією смарт технологій. *Актуальні проблеми сучасного дизайну* : збірник матеріалів VII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 4 квітня 2025 року. У 3-х т. Т. 1. Київ : КНУТД, 2025. С. 365-367. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/31260>
2. Люклян Н., Пашкевич К., Матюшенко Т., Скрипченко А. Еволюція та перспективи розвитку смарт-технологій в дизайні одягу. *Актуальні проблеми сучасного дизайну* : збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 25 квітня 2024 року. У 3-х т. Т. 1. Київ : КНУТД, 2024. С. 323-326. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/28184>
3. Люклян Н.Р., Пашкевич К.Л. Історичний контекст інновацій в дизайні одягу. *International scientific-practical conference "Actual problems of science, education and technologies"* : conference proceedings, Bratislava, Slovakia, July 25, 2023. Bratislava, Slovakia : Scholarly Publisher ICSSH, 2023. P. 90-92. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/25188>
4. Liuklian N., Pashkevych K., Proțik B., Petrova O. Smart fashion: connection between haute couture and the newest technology. In: *Creativitate. Tehnologie. Marketing*, Ed. IV, 31 martie 2023, Chișinău. Chișinău: „Tehnica-UTM”, 2023, IV, pp. 23-25. URL: <http://repository.utm.md/handle/5014/24812>
5. Колосніченко О., Пашкевич К., Остапенко Н., Люклян Н., Рубанка А. Ергономічні адаптивні вироби для пацієнтів: систематизації та інноваційні технології. *Актуальні проблеми сучасного дизайну* : збірник матеріалів IV

- Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 27 квітня 2022 року. В 2-х т. Т. 1. Київ : КНУТД, 2022. С. 162-165. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/20914>
6. Пашкевич К., Колосніченко О., Скрипченко А., Люклян Н. Інновації в конструктивному рішенні одягу для пацієнтів. *Актуальні проблеми сучасного дизайну* : збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 22 квітня 2021 року. В 2-х т. Т. 1. Київ : КНУТД, 2021. С. 295-297. URL: <https://repository.utm.md/handle/5014/18479>
 7. Люклян Н.Р., Пашкевич К.Л., Колосніченко О.В., Власенко В.І. Застосування розумних тканин при проектуванні функціонального одягу для пацієнтів. *Débats scientifiques et orientations prospectives du développement scientifique* : collection de papiers scientifiques "ΛΟΓΟΣ" avec des matériaux de la I conférence scientifique et pratique internationale, Paris, République française, 5 février 2021. Vol. 3. Vinnytsia-Paris: Plateforme scientifique européenne & La Fedeltà, 2021. P. 44-46. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-05.02.2021.v3.12>
 8. Люклян Н.Р., Писаренко Н.М. Biodegradable textiles as an alternative to standard fabrics. *Інноваційні тенденції підготовки фахівців в умовах полікультурного та мультилінгвального глобалізованого світу* : збірник тез доповідей V Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 7 квітня 2020 р. Київ : КНУТД, 2020. С. 299-302. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/15326>
 9. Люклян Н.Р. Писаренко Н.М. Technology in fashion. *Інноваційні тенденції підготовки фахівців в умовах полікультурного та мультилінгвального глобалізованого світу* : збірник тез доповідей IV Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 9 квітня 2019 р. Київ : КНУТД, 2019. С. 192-196. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/13081>

ДОДАТОК В

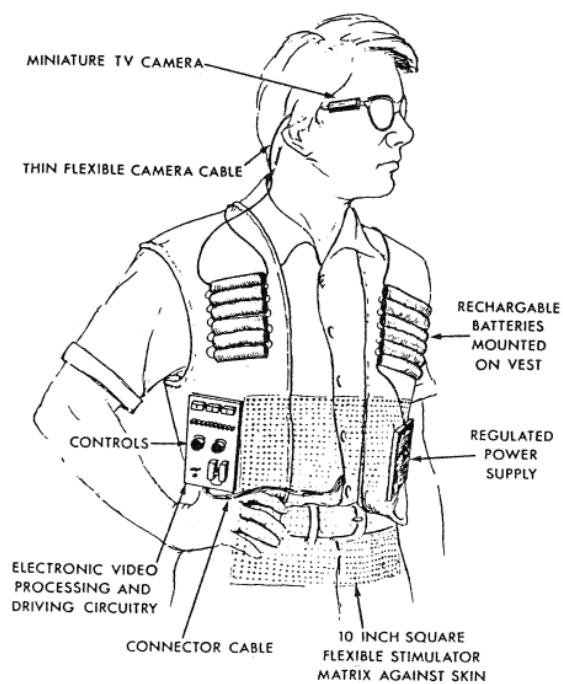


Рис. В.1. Перший фотожилет для незрячих, К. Колінс з Інституту візуальних наук Сміта-Кеттлвелла, США, 1977 р. [106]

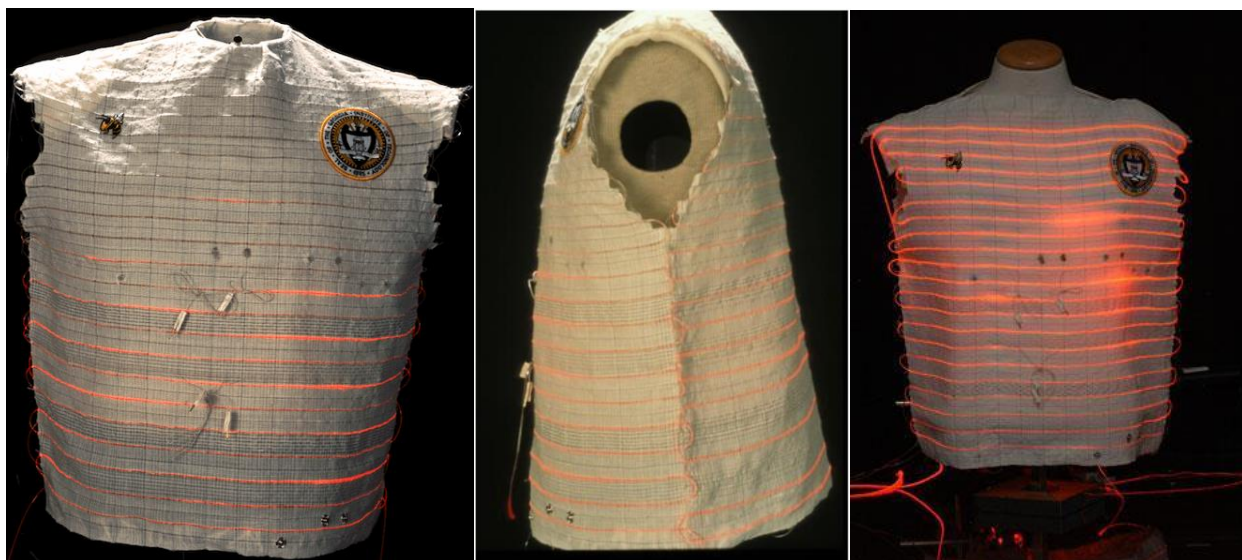


Рис. В.2. Носима материнська плата Wearable Motherboard, Технологічний інститут Джорджії, США, 1996 р. [267]



Рис. В.3. Куртка Levi's Industrial Clothing Division, дизайнер М. Ості (Італія) та компанія «Philips» (Нідерланди), 2000 р. [228]



Рис. В.4. Куртка THE HUB для сноубордистів з вбудованою системою Bluetooth/MP3, «Infineon Technologies», Німеччина, «O'Neill», США, 2002 р.

[148]



Рис. В.5. Джемпер Hug Shirt, призначений для відтворення відчуття обіймів, «CuteCircuit», Велика Британія, 2002 р. [267]



Рис. В.6. Куртка Mp3Blue з вбудованим MP3-плеєром та Bluetooth-з'єднанням, «Infineon Technologies», «Rosner», Німеччина, 2004 р. [155]



Рис. В.7. Куртка Burton Amp з інтегрованою системою керування iPod, «Burton Snowboards», «Apple», США, 2003 р. [91]

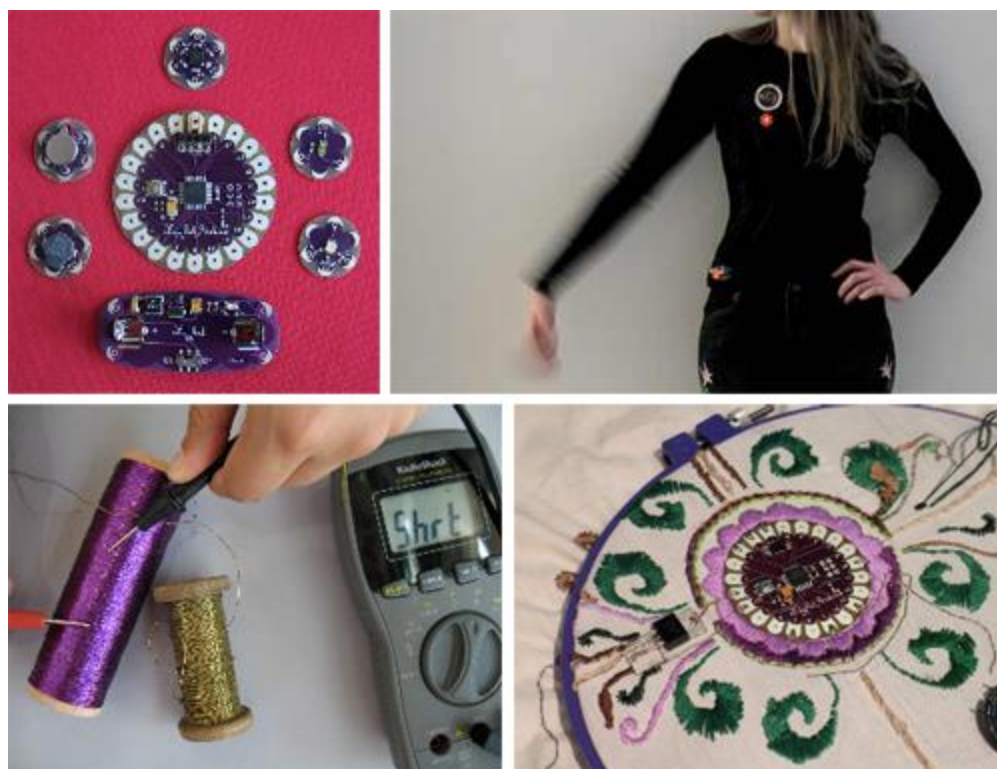


Рис. В.8. Конструктор LilyPad Arduino, винахідниця Л. Бюхлі та компанія «Arduino», Італія, 2007 р. [200]



Рис. В.9. Куртка NavJacket, «O'Neill Europe» (Нідерланди), «MyGuide» (Велика Британія), 2008 р. [229]

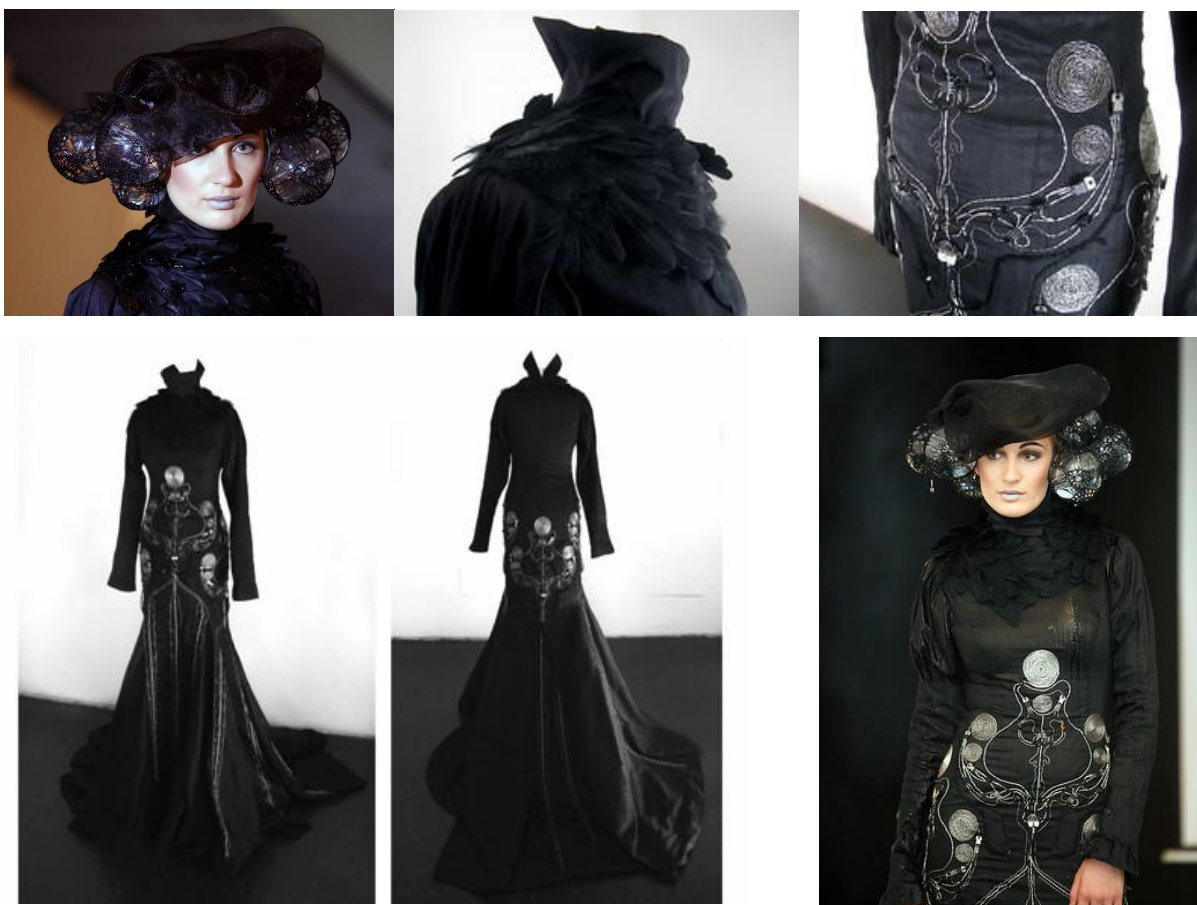


Рис. В.10. «Плакуча сукня», «КОВАКАНТ», Німеччина, 2012 р. [300]



Рис. В.11. Куртка із вбудованими сонячними панелями, «Tommy Hilfiger»,
«Pvilion», США, 2014 р. [289]



Рис. В.12. Сорочка з інтегрованою NFC-технологією, «Arrow», Індія, 2016 р.



Рис. В.13. Джинсова смарткуртка Levi's Commuter Trucker Jacket із технологією Jacquard. «Levi's», «Google ATAP», США, 2017 р. [99]

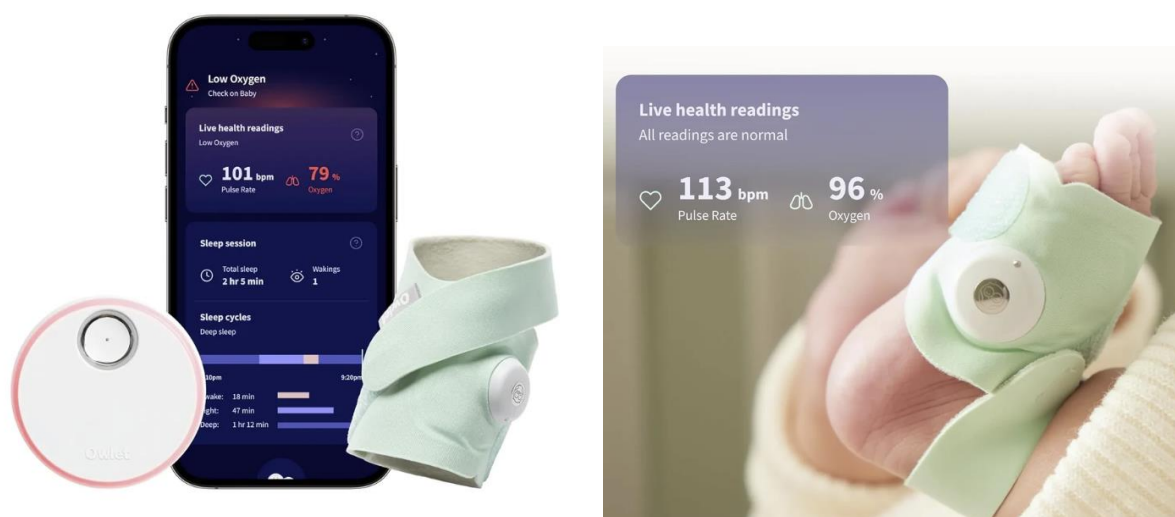


Рис. В.14. Бездротовий пристрій Owlet Smart Sock для моніторингу життєвоважливих показників новонароджених, «Owlet Baby Caret», Китай, 2017 р. [107]

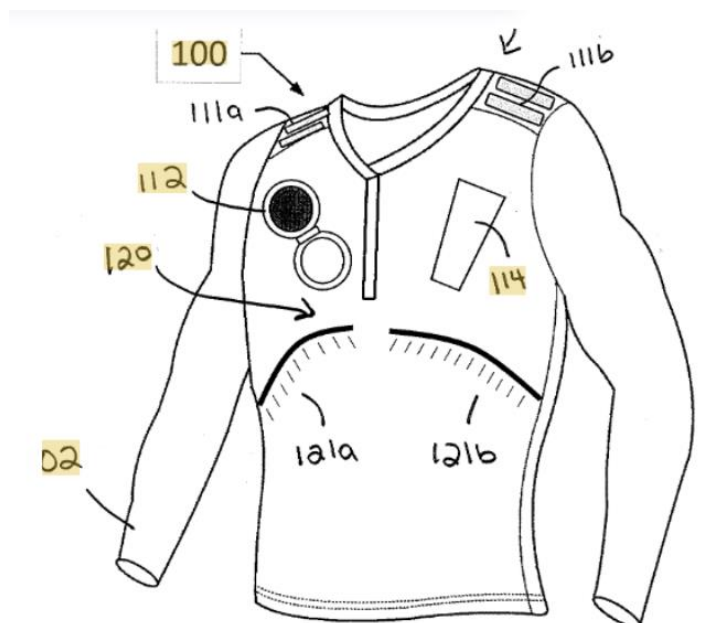


Рис. В.15. Сенсорне боді для занять йогою, «Nike», США, 2018 р. [244]

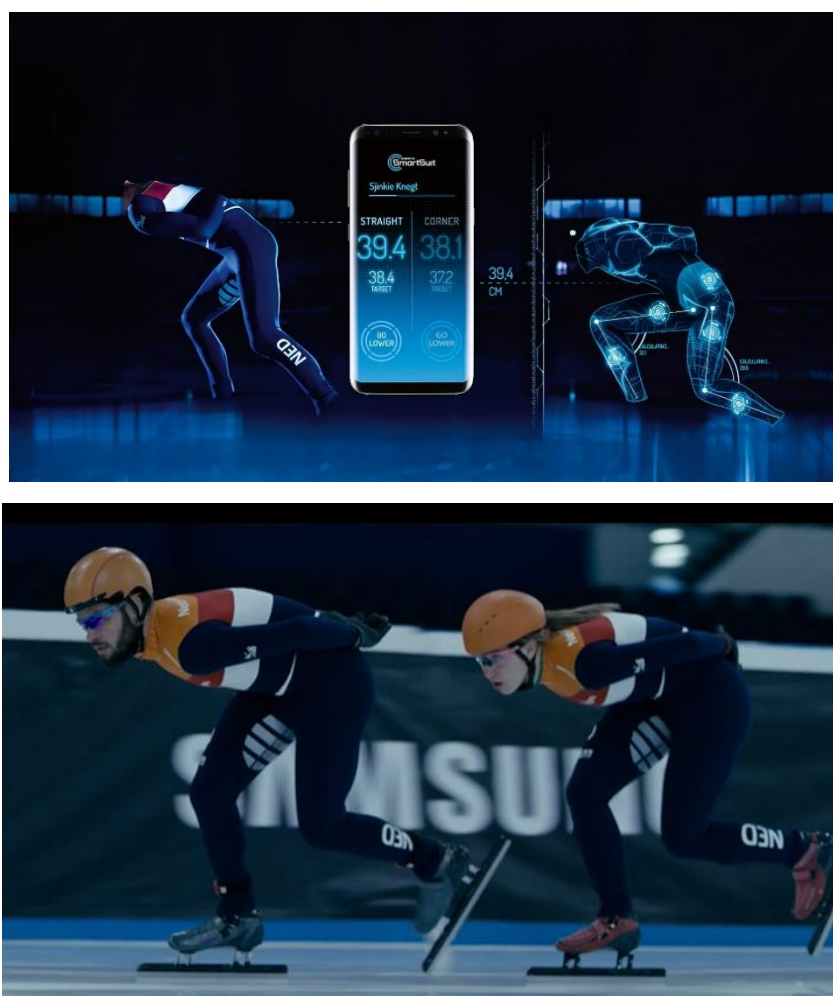


Рис. В.16. Смарткостюм SmartSuit для тренувань шорт-трекерів, «Samsung», Південна Корея, 2018 р. [118]



Рис. В.17. Смартпіжами e-skin Sleep & Lounge, «Хенома», Японія, 2020 р. [96]



Рис. В.18. Майка для моніторингу фізіологічних параметрів Hexoskin Smart Kit, «Hexoskin», Канада, 2016 р. [152]



Рис. В.19. Майка компресійна з електродами для прийому пульсу POLAR Team Pro Shirt, «POLAR Electro», Фінляндія, 2017 р. [34]



Рис. В.20. Спортивний бюстгальтер Supra Powered зі штучним інтелектом, «Supra Tech», Китай, 2017 р. [292]



Рис. В.21. Спортивний комплект з біомоніторингом в режимі реального часу, «Athos», США, 2014 р. [77]



Рис. В.22. Шкарпетки для бігунів Sensoria Smart Socks, «Sensoria», США, 2013 р. [63]

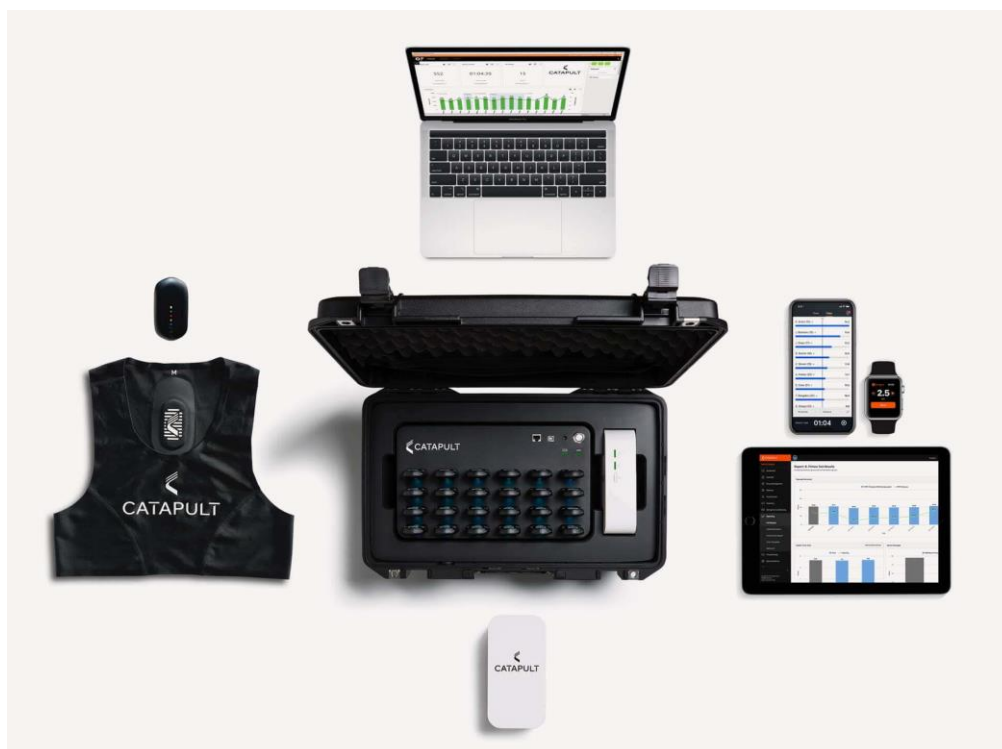


Рис. В.23. Пристрій Catapult Vector з GPS-трекерами та біометричними датчиками для спортсменів командних ігор, «Catapult Sports», Австралія, 2019 р. [94]



Рис. В.24. Футболка Smart Healthcare для відстеження серцевого ритму, «Renben Technology Clothing», Китай [150]



Рис. В.25. Костюм Howdy Breath для вимірювання частоти дихання, «ComfTech», Італія, 2020 р. [237]



Рис. В.26. Шкарпетки Siren Socks для хворих на діабет, «Siren», США, 2016 р.

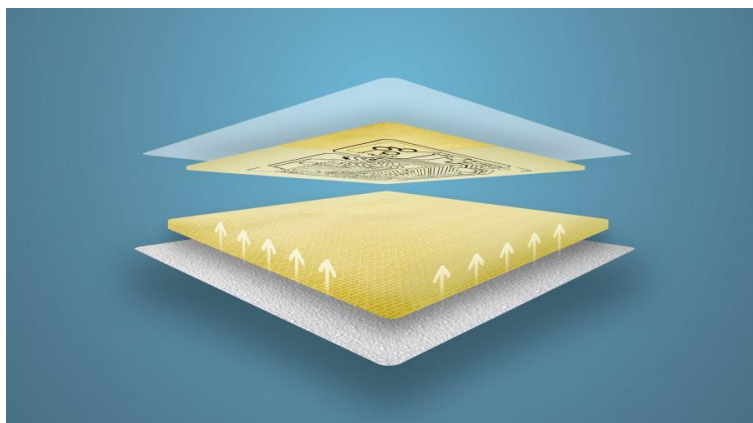


Рис. В.27. Смартпов'язка DermaTrax для загоєння ран, Національний інститут Тиндаля, «Fleming Medical», Ірландія, «Dutch R&D», «Holst Centre/TNO», Нідерланди, 2015 р. [275]



Рис. В.28. Панчохи для моніторингу набряків ніг пацієнтів, «Edema ApS», Данія, 2018 р. [160]



Рис. В.29. Бронежилет з електронним текстилем Broadsword Spine, що включає мережу зв'язку та живлення, «BAE Systems», «Intelligent Textiles Limited», Велика Британія, 2016 р. [280]



Рис. В.30. Прототип броньованого екзоскелета Tactical Assault Light Operator Suit (TALOS), Командування спеціальних операцій США, 2013 р. [340]



Рис. В.31. Браслет для виявлення хімічних речовин Chameleon, «Morphix Technologies», США, 2002 р. [97]



Рис. В.32. Жилет S-AIRBAG для запобігання травмам літніх людей у разі падінь, «S-AIRBAG», Китай, 2021 р. [252]



Рис. В.33. Костюм для моніторингу фізіологічного стану пожежників та виявлення токсичних газів, Західночеський університет у Пльзені, Чехія, 2014 р. [285]



Рис. В.34. Костюм для пожежників з системою відстеження GPS, «Wearin'», Швейцарія, 2020 р. [243]



Рис. В.35. Куртка ConIoT для будівельників, «Dimex Oy», Фінляндія, 2020 р. [271]



Рис. В.36. Костюм Teslasuit 4 з тактильним зворотнім зв'язком, «Deep Divers»,
Велика Британія, 2016 р. [298]



Рис. В.37. Тактильний костюм OWO Skin для AR/VR-реальності, «OWO Game»,
Іспанія, 2023 р. [67]



Рис. В.38. Сорочка SoundShirt для відтворення звуків за допомогою вібрацій, «CuteCircuit», Велика Британія, 2018 р. [286]



Рис. В.39. Сукня зі світлодіодним підсвічуванням, «ETERESHOP», Польща [166]



а



б



в



г



д

Рис. В.40. Смартрозробки Haute Couture бренду «CuteCircuit», Велика Британія: а – сукня MFA Dress, 2016 р.; б – Graphene Dress, 2017 р.; в – колекція весна-літо 2018/19; г – колекція осінь-зима 2014/15; д – колекція осінь-зима 2012/13 [169]



Рис. В.41. Піжама Smart PJ для дітей з унікальними візерунками, що запускають оповідання казок, винахідник Х. Мердок, США, 2013 р. [278]



Рис. В.42. Смарткостюми для гендерної освіти, дослідники Ч. Ту, Л. Ніу, Ж. Цуй і К. Лю, Китай, 2024 р. [308]



Рис. В.43. Куртка з світловими ефектами та голосовими інструкціями, Wiggly, Мексика, 2020 р. [305]



Рис. В.44. Костюм з підігрівом Skin-Fit, «FNDN», США [131]



Рис. В.45. Сукня Smart Second Skin, що вивільняє аромати, «eScent», Велика Британія, 2002 р. [277]



Рис. В.46. Светр GER, що відображає емоції за допомогою світлодіодів, «Sensoree», США, 2014 р. [134]

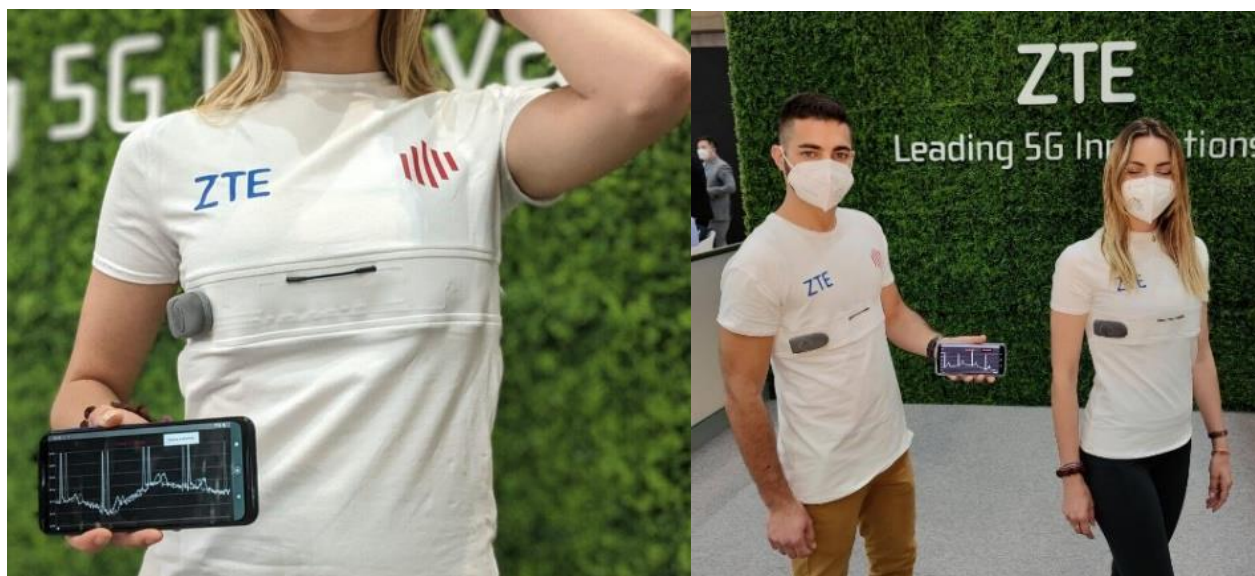


Рис. В.47. Футболка YouCare, «ZTE Corporation», Китай, «AccYouRate Group», «Red Cross Italy», «Let's Web-wearable Solutions» Італія, «BSP-Medical» Ізраїль, червень 2021 р. [336]



Рис. В.48. Смартбілизна Skiin Underwear, «Myant», «PACE Cardiology Clinic», Канада, грудень 2021 р. [281]

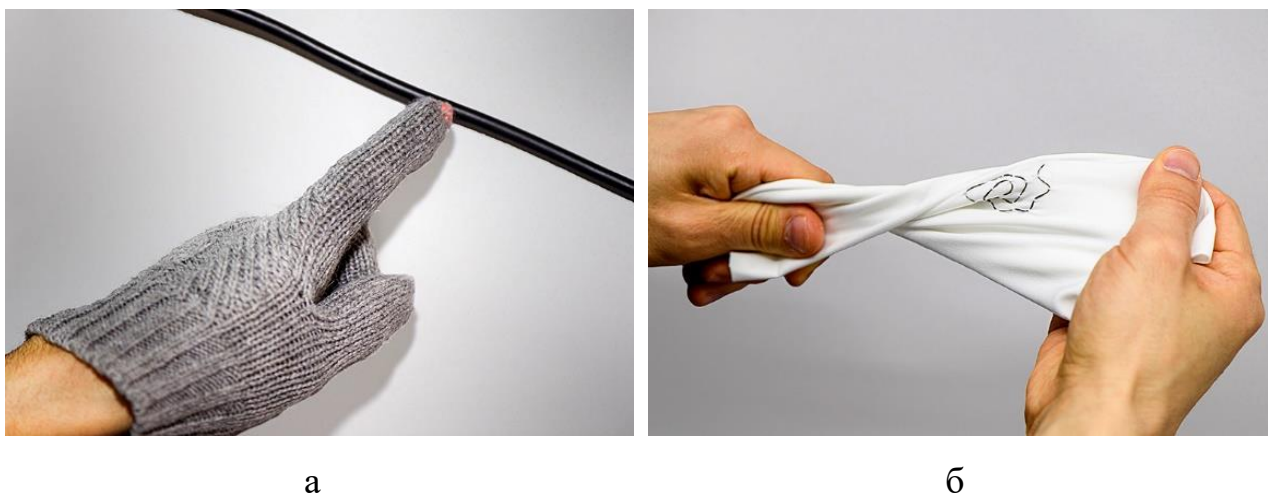


Рис. В.49. Технологія бездротового живлення, Університету Пердью, США, червень 2021: а – рукавичка для безпеки при роботі з електрикою; б – пов'язка із системою кардіомоніторингу [132]



Рис. В.50. Бандажі з технологію фокальної вібрації, «Myovolt», Нова Зеландія, травень 2021 р. [124]

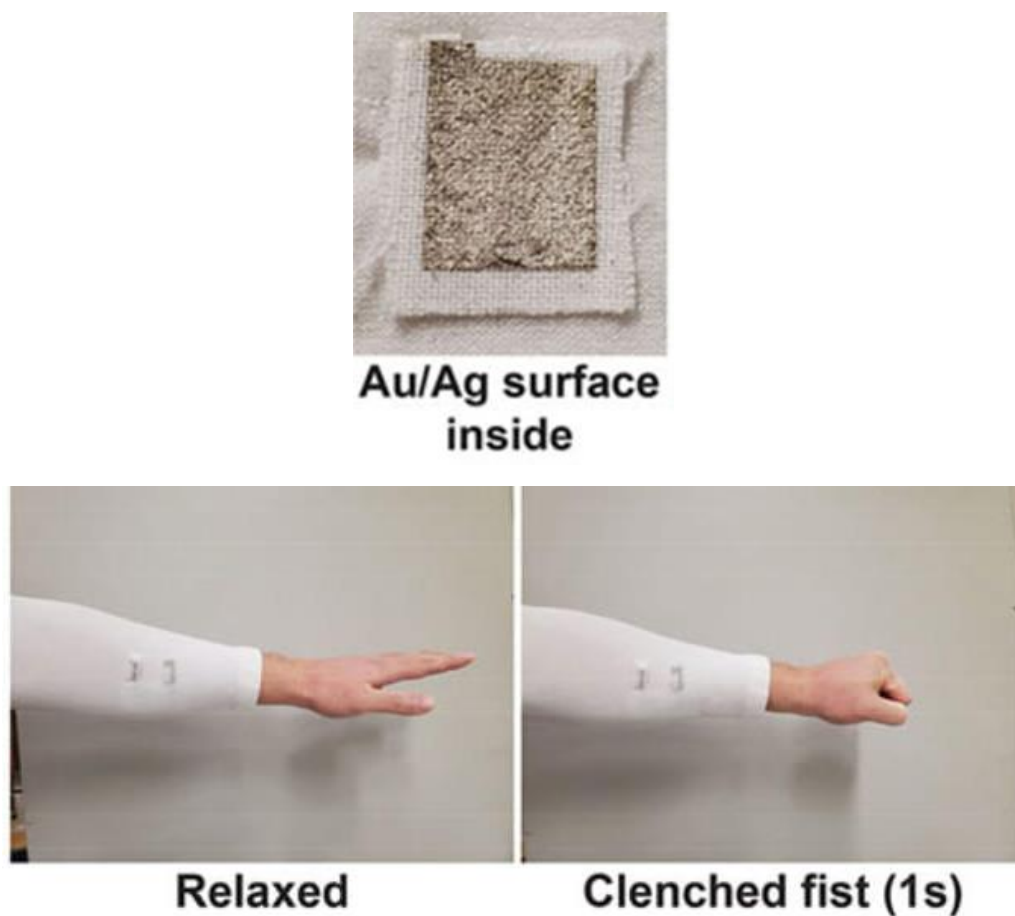


Рис. В.51. Технологія вимірювання електричних імпульсів м'язової активності, Університет Юти, США, листопад 2021 р. [238]



Рис. В.52. Жилет з підігрівом, «Oro Heated Apparel», США, березень 2021 р. [221]



Рис. В.53. Костюм з підігрівом, «Н.Е.А.Т.», США, серпень 2021 р. [145]



Рис. В.54. Куртка із системою охолодження температури RL Cooling, «Ralph Lauren», США, липень 2021 р. [189]



Рис. В.55. Інтерактивне боді, дизайнерка Іга Венглінська, Польща, грудень 2021 р. [178]



Рис. В.56. Текстильний екзоскелет SafeLift, «Verve Motion», США, липень 2021 р. [321]



Рис. В.57. Смартфутболка SmartTex для астронавтів, Німецький аерокосмічний центр, «DSI Aerospace Technologie», медичний факультет Білефельдського університету, «Hohenstein», Німеччина, жовтень 2021 р. [149]



Рис. В.58. Смартфутболка для моніторингу дихання, Університет Лаваль, Канада, січень 2022 р. [147]



Рис. В.59. Жилет для моніторингу функції легень, Інститут керамічних технологій та систем Фраунгофера, Німеччина, серпень 2022 р. [154]



Рис. В.60. Смартбюстгалтер для виявлення раку молочної залози на ранній стадії, дизайнерка К. Боларінва, Нігерія, березень 2022 р. [64]

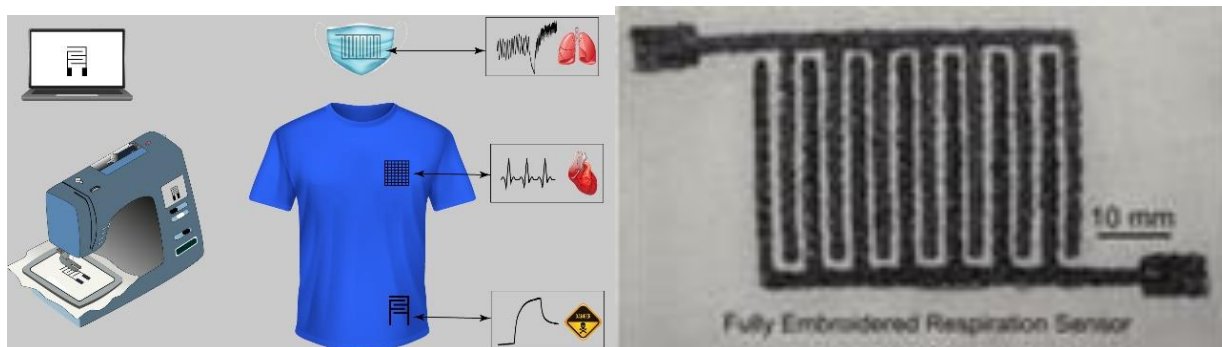


Рис. В.61. Смартфутболка з провідною ниткою RECOTEX, Імперський коледж Лондона, Велика Британія, вересень 2022 р. [88]



Рис. В.62. Смартрукавичка на основі волокон Kuraray, «AI SILK Corporation», Японія, жовтень 2022 р. [176]



Рис. В.63. Вишивка з енергогенеруючих ниток на текстилю, Університет штату Північна Кароліна, США, листопад 2022 р. [227]



Рис. В.64. Смарткуртка з підігрівом Sundance Heptathlon Black Technology, «Sundance», Китай, грудень 2022 р. [177]



Рис. В.65. Смартфутболка з інтегрованим сенсорним екраном, Технічний дослідницький центр VTT, Фінляндія, лютий 2022 р. [198]



Рис. В.66. Інноваційні вібраційні жилет та топ для людей із порушеннями слуху, «Tactus», США, Нідерланди, лютий 2023 р. [335]



Рис. В.67. Жилет з вібрomodулями для людей з порушенням слуху, «Not Impossible Labs», США, липень 2023 р. [315]



Рис. В.68. Смартштани для спостереження за рухами користувача, Федеральний університет Еспіріту-Санту, Бразилія, липень 2023 р. [78]



Рис. В.69. Система NeuroSkin для реабілітації після інсульту, «Kurage», Франція, липень 2023 р. [233]

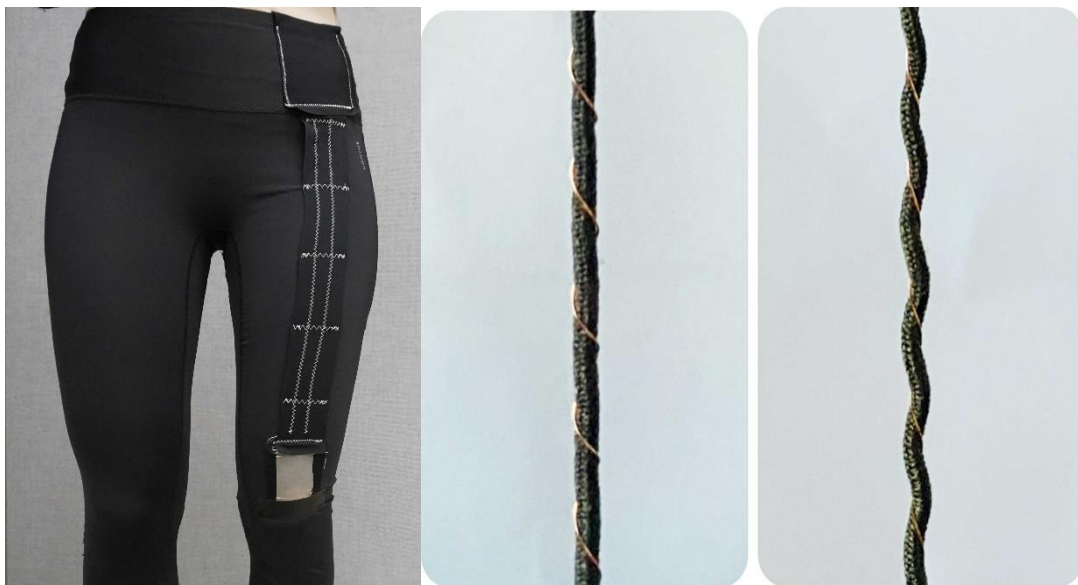


Рис. В.70. Легінси для визначення ступеня фізичної втоми користувача, «ETH Zurich», Швейцарія, березень 2023 р. [121]



Рис. В.71. Смартмайка для моніторингу життєвих показників, «AccYouRate», Італія, вересень 2023 р. [254]



Рис. В.72. Жилет з підігрівом Carhartt X-1, «Carhartt», США, лютий 2023 р.

[188]



Рис. В.73. Інтерактивна сукня Project Primrose, представлена на Adobe MAX 2023 у Лос-Анджелесі, «Adobe Research», США, жовтень 2023 р. [66, 159]



Рис. В.74. Інтерактивна сукня Project Primrose, представлена на FW24 під час Тижня моди в Нью-Йорку США, 2024 р. [66]

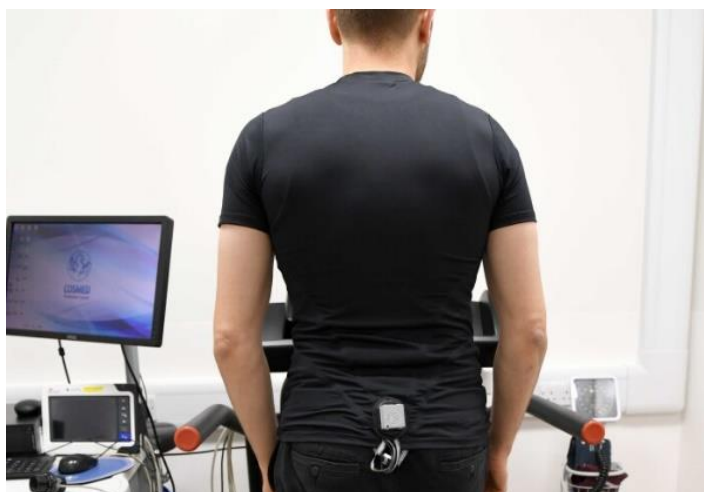


Рис. В.75. Смартфутболка для відстеження серцевого ритму, Імперський коледж Лондона, Велика Британія, грудень 2024 р. [246]

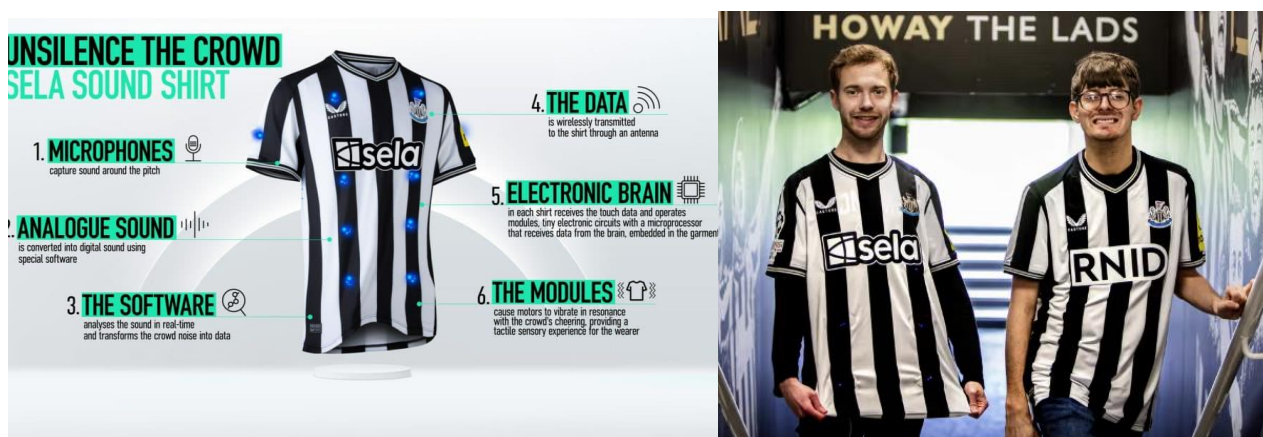


Рис. В.76. Футболки Sela Sound Shirt для футбольних вболівальників з порушенням слуху, «Cute Circuit», Велика Британія, серпень 2024 р. [62]



Рис. В.77. Роботизовані шорти, Гайдельберзький університет Рупрехта-Карла та Мюнхенський технічний університет, Німеччина, жовтень 2024 р. [306]

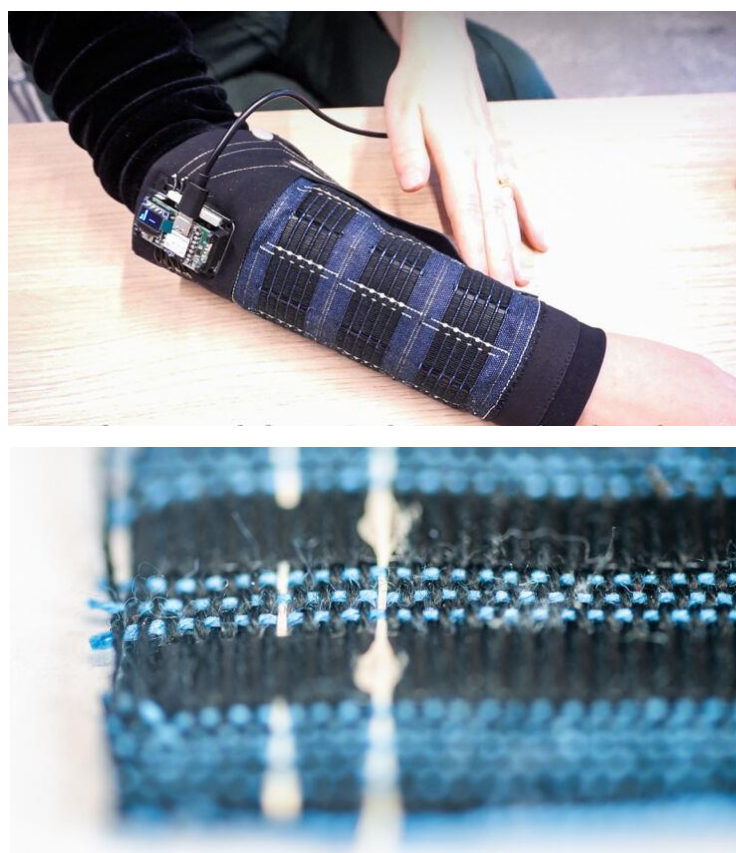


Рис. В.78. Прототип рукава, що імітує функцію м'язів, Лінчепінзький університет та Університет Борос, Швеція, червень 2024 р. [302]

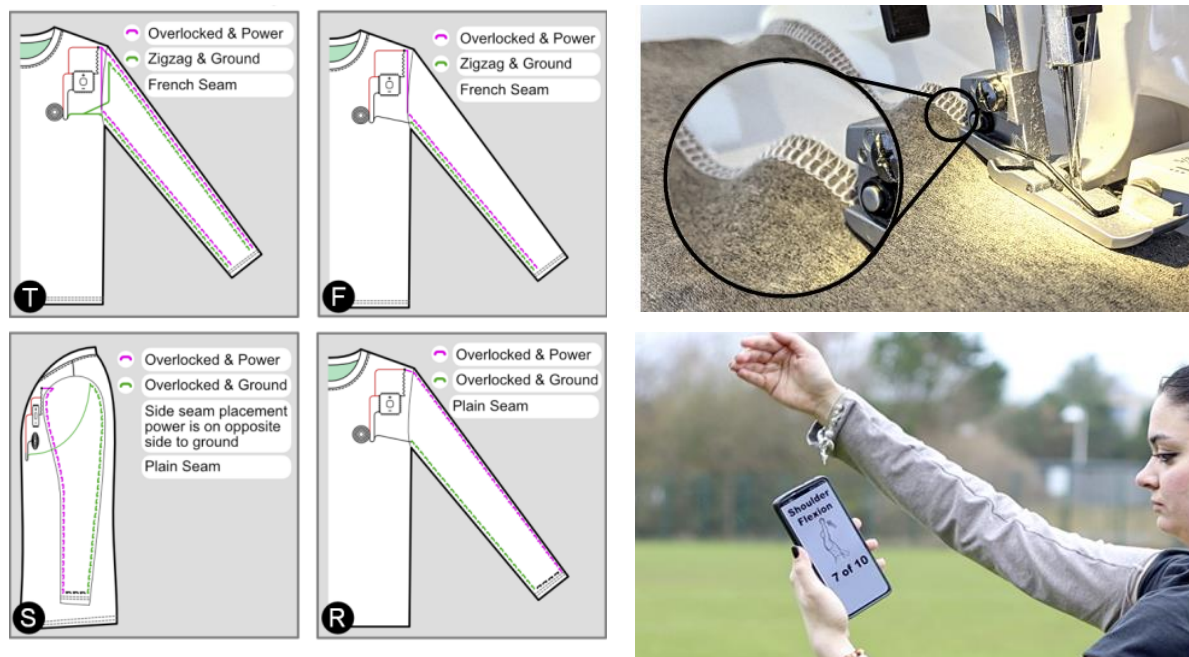


Рис. В.79. Технологія SeamSleeve для відстеження рухів, Університети Бата та Брістоля, Велика Британія, липень 2024 р. [105]



Рис. В.80. Джинси з охолоджувальним ефектом GQ Cool Tech, «HeiQ», Швейцарія, «GQ Apparel», Таїланд, серпень 2024 р. [151]



Рис. В.81. Куртка Firefly Jacket, що змінює колір залежно від умов освітлення, «Vollebak», Велика Британія, березень 2024 р. [317]



Рис. В.82. Футболка з доповненою реальністю, «Avery Dennison», США, січень 2024 р. [225]

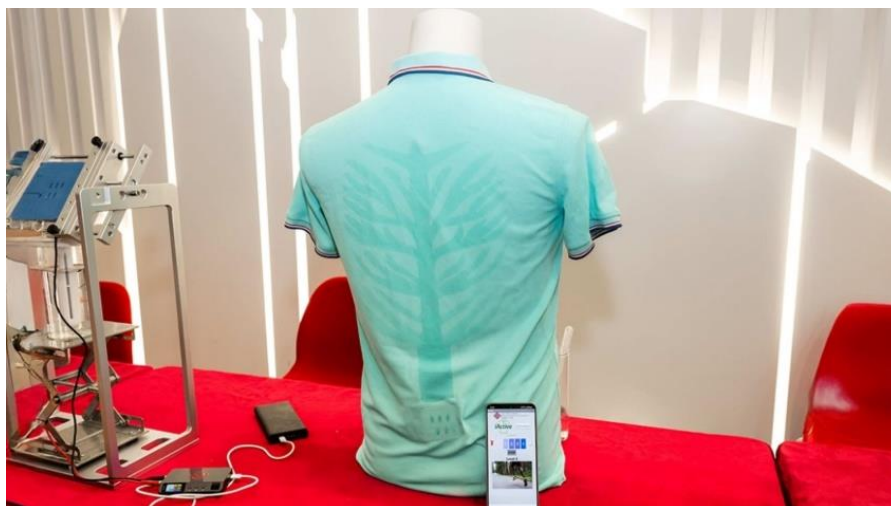


Рис. В.83. Футболка для створення дихаючого і сухого мікроклімату шкіри користувача, Гонконзький політехнічний університет, Китай, серпень 2024 р. [68]

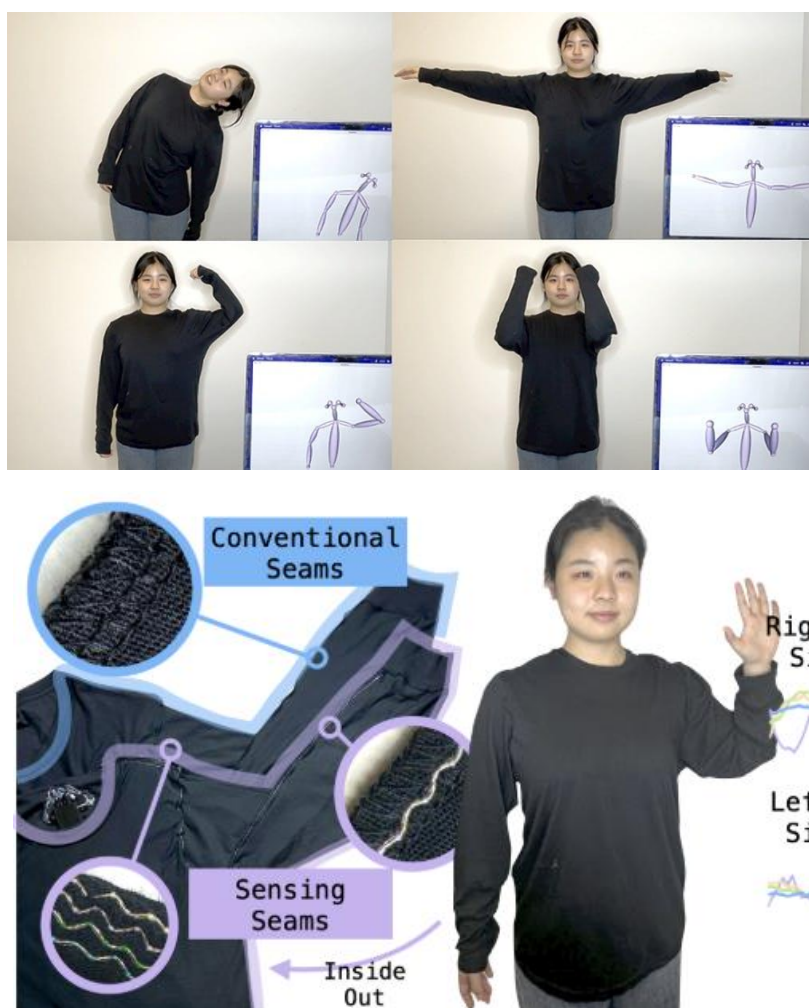


Рис. В.84. Сорочка з технологією SeamPose для відстеження пози верхньої частини тіла, Університет Корнелла, США, жовтень 2024 р. [146]



Рис. В.85. Роботизований одяг з автоматичною адаптацією до зміни температури, Гонконзький політехнічний університет, Китай, серпень 2024 р.

[168]



Рис. В.86. 4D-трикотажна сукня, що змінює форму під дією тепла, Массачусетський технологічний інститут, США, січень 2024 р. [69]



Рис. В.87. Піжама для моніторингу сну, Кембриджський університет, Велика Британія, лютий 2025 р. [296]



Рис. В.88. Смартфутболка для пацієнтів, Університет Сапієнца в Римі, «LET's Webearable Solutions», Італія, березень 2025 р. [282]

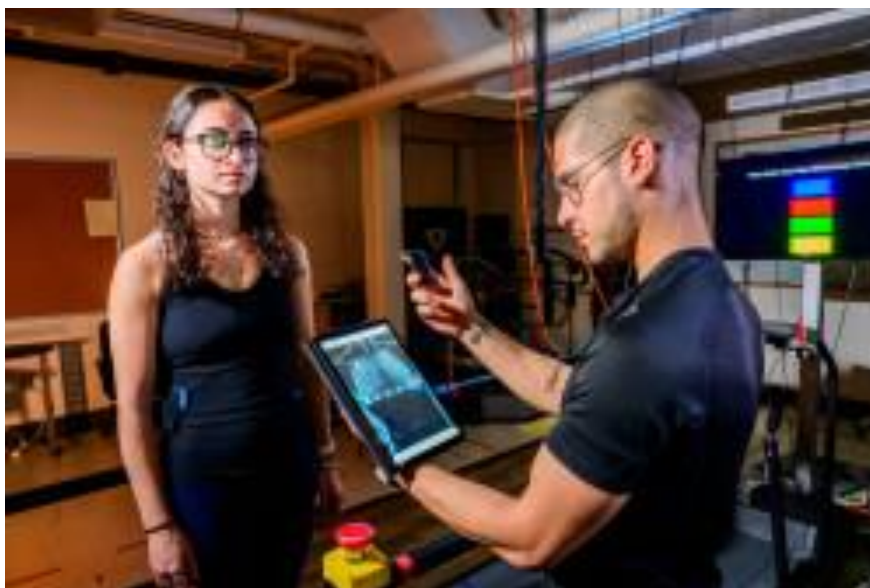


Рис. В.89. Майка для відстеження відновлення частоти серцевих скорочень, Університет Іллінойсу в Урбана-Шампейні, США, квітень 2025 р. [276]

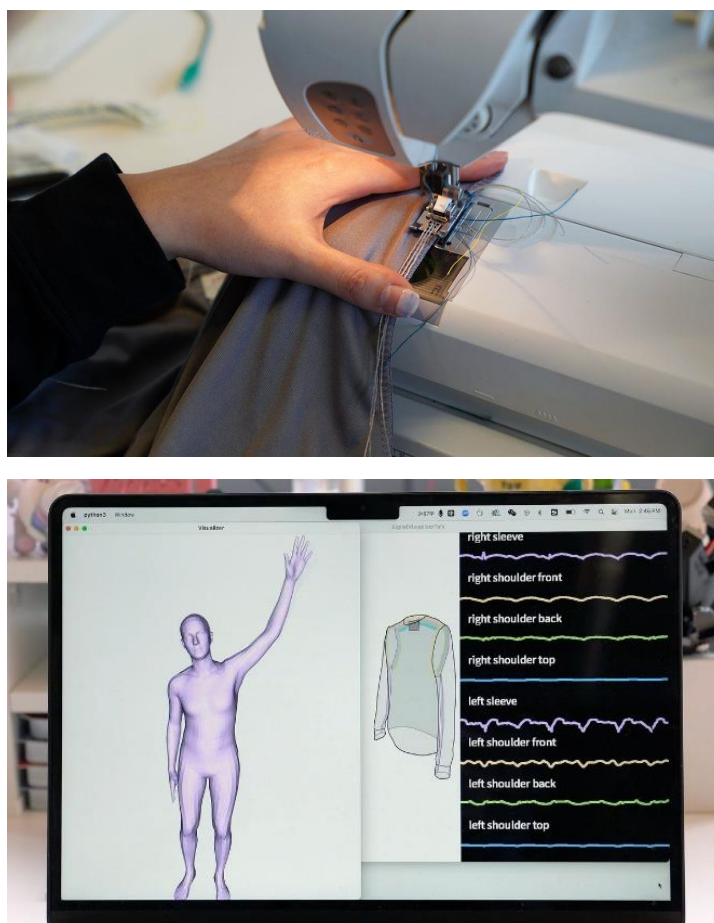


Рис. В.90. Футболка з моделлю штучного інтелекту, Університет Корнелла, США, квітень 2025 р. [87]



Рис. В.91. Смарткуртка для регулювання температури та запобігання перегріву, Американське хімічне товариство, США, Лабораторія штучного інтелекту в дизайні, Китай, лютий 2025 р. [224]

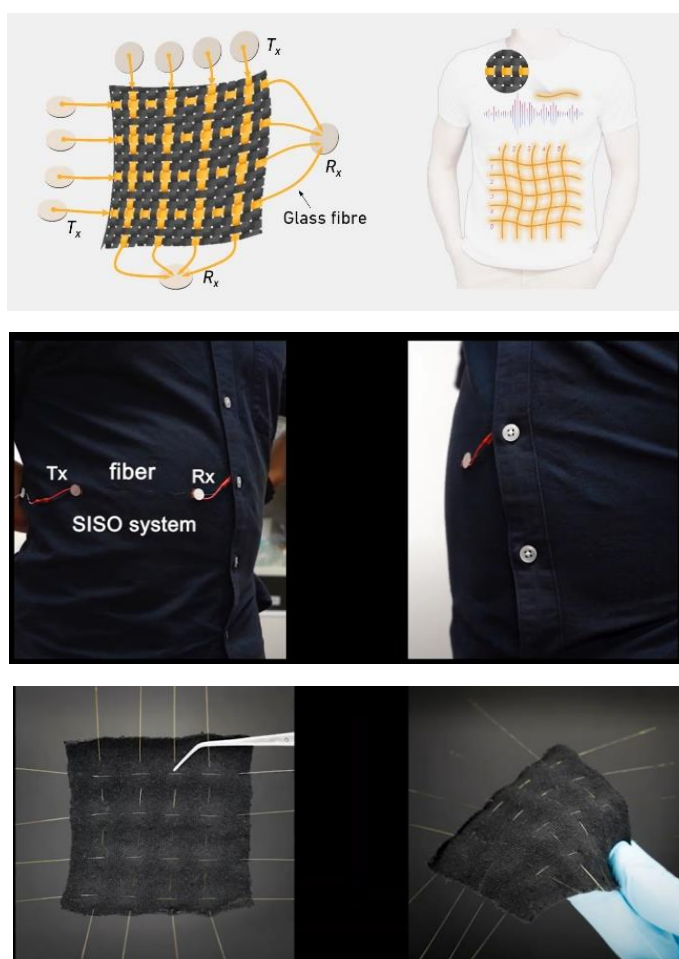


Рис. В.92. Футболка, що використовує звукові хвилі для вимірювання дотику, тиску та руху користувача, «ETH Zurich», Швейцарія, травень 2025 р. [194]



Рис. В.93. Куртка з підігрівом, Східноукраїнський технокластер, м. Краматорськ, ШП «VELNA» м. Українськ, Україна, 2021 р. [57]



Рис. В.94. Жилет з підігрівом, ТМ «Shine», м. Харків, Україна [11]



Рис. В.95. Куртка з підігрівом, «Freever», м. Одеса, Україна [59]

ДОДАТОК Г

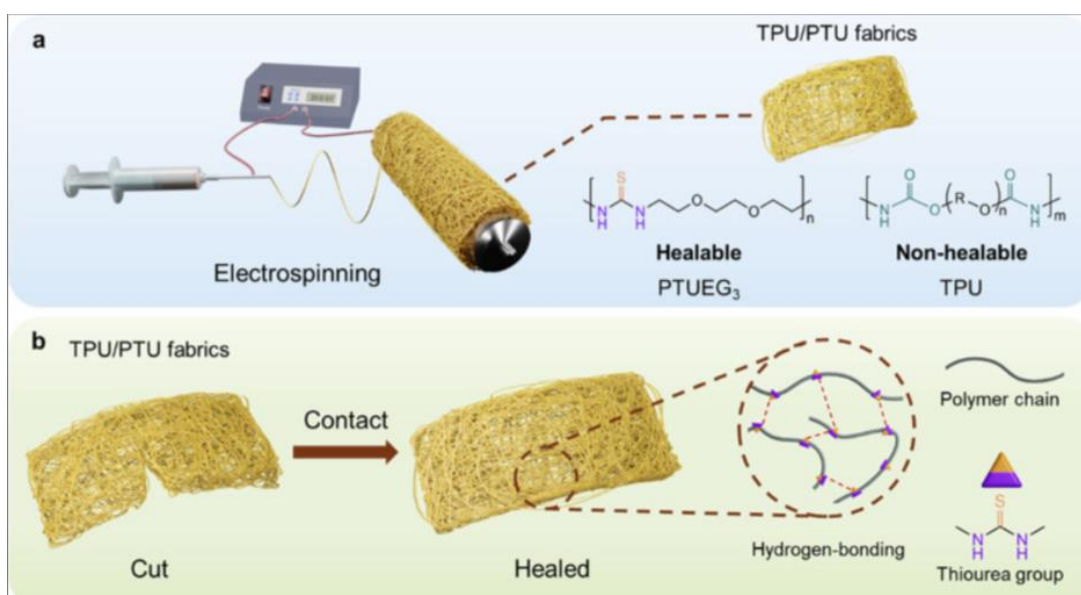


Рис. Г.1. Виготовлення та механізм самовідновлення електроформованих тканин TPU/PTUEG₃, Дюкський університет, США, Національний університет Янмін Чіаодун, Тайвань, грудень 2024 р. [210]

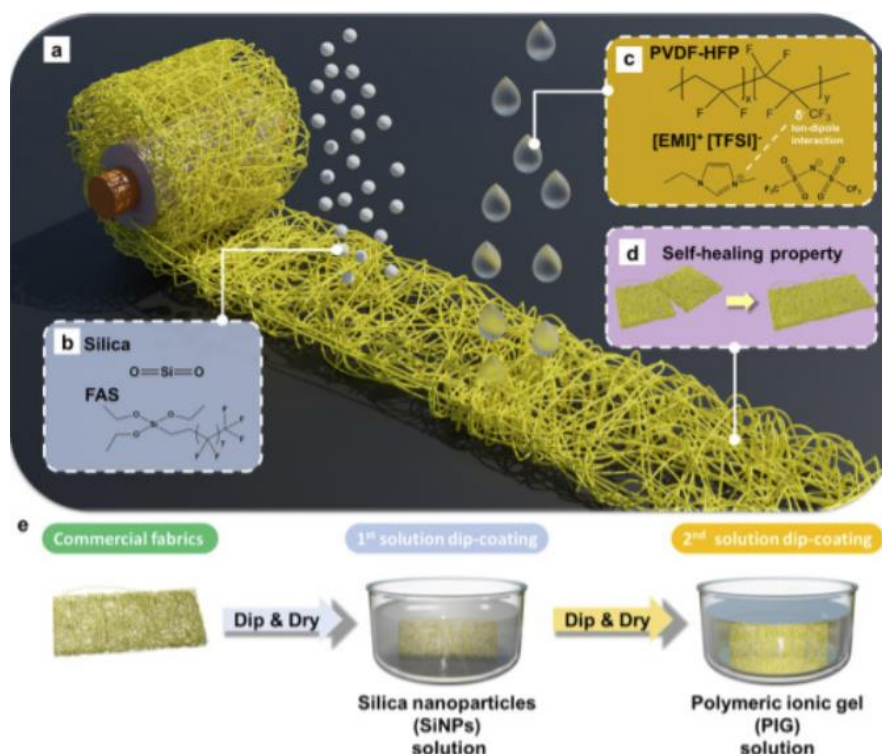


Рис. Г.2. Самовідновлювальний текстиль з покриттям поверхнево-модифікованими наночастинками кремнезему та полімерним іонним гелем, Національний університет Янмін Чіаодун, Тайвань, серпень 2025 р. [307]

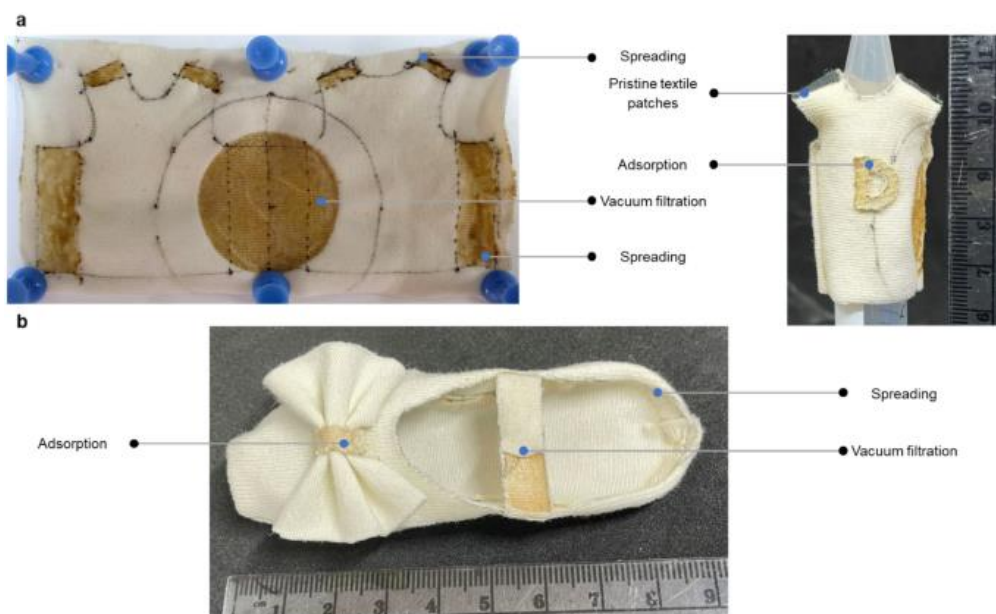


Рис. Г.3. Прототипи одягу, виготовлені на основі механізму біоплівково-текстильних композитів: а – міні-сорочка; б – міні-танцювальне взуття; Університет Макгілла, Канада, липень 2023 р. [93]



Рис. Г.4. Кросівки Sneature, що складаються з мембрани з собачої шерсті (чіенгора), перехідної зони з натурального каучуку та підшви з грибного міцелію, Університет мистецтва та дизайну Оффенбаха, Німеччина, грудень 2020 р. [284]

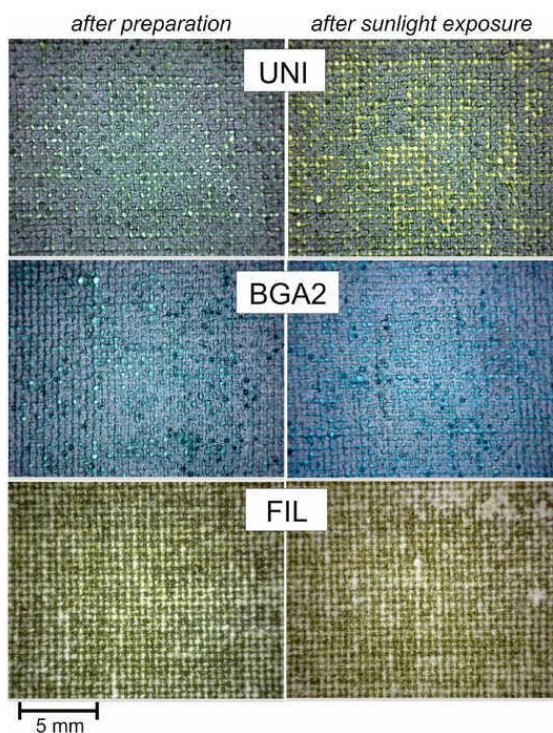


Рис. Г.5. Зразки тканин, покритих матеріалами з водоростей *Chlorella vulgaris* та *Spirulina*, Університет прикладних наук, Гамбурзький університет, Німеччина, жовтень 2024 р. [84]

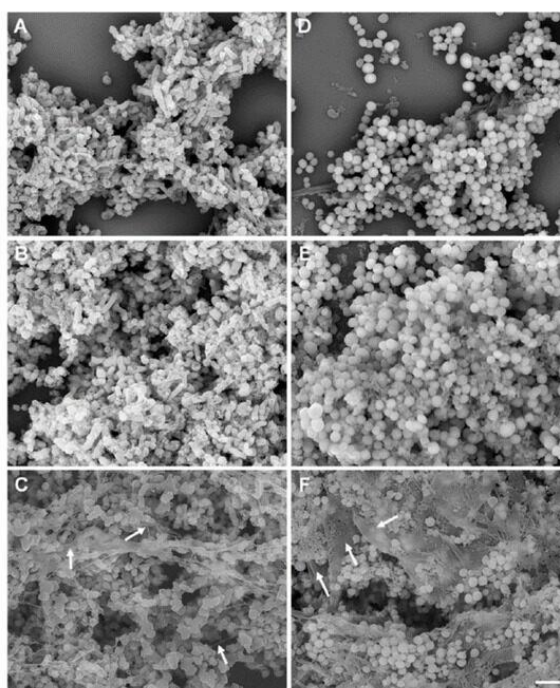


Рис. Г.6. Зображення біоплівки з мікробних колоній, вирощеною в безбарвному середовищі, Університет у Буффало, Школа медицини та біомедичних наук Університету Баффало, США, квітень 2023 р. [263]

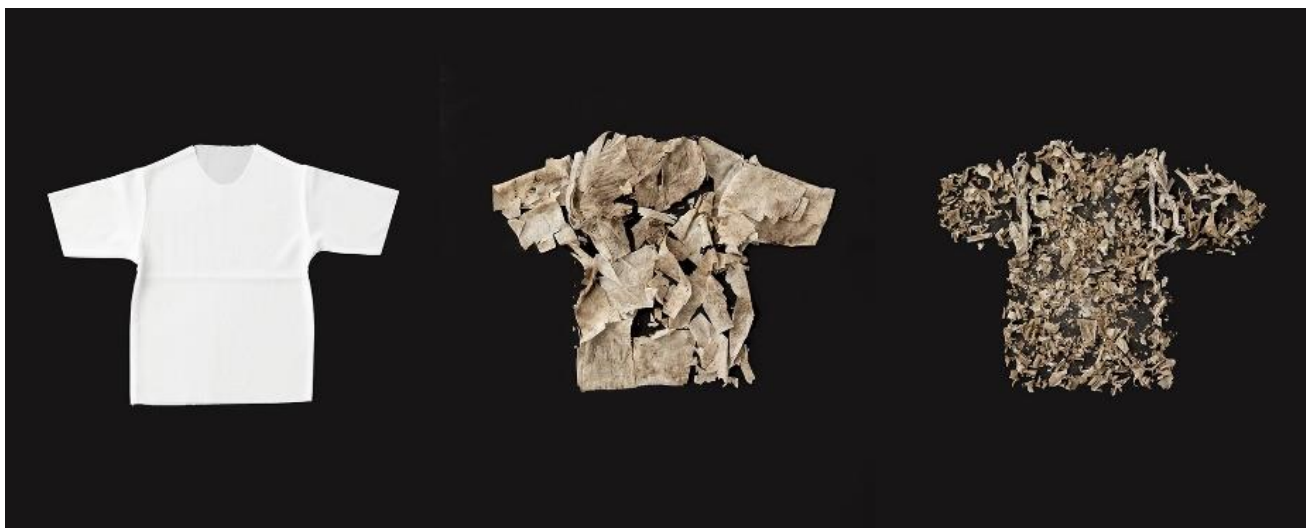


Рис. Г.7. Футболка Highlast, що розкладається за 6 днів, виготовлена із суміші традиційних волокон з біопластиком полімолочної кислоти, ТМ «HighChem», Японія, серпень 2022 р. [136]

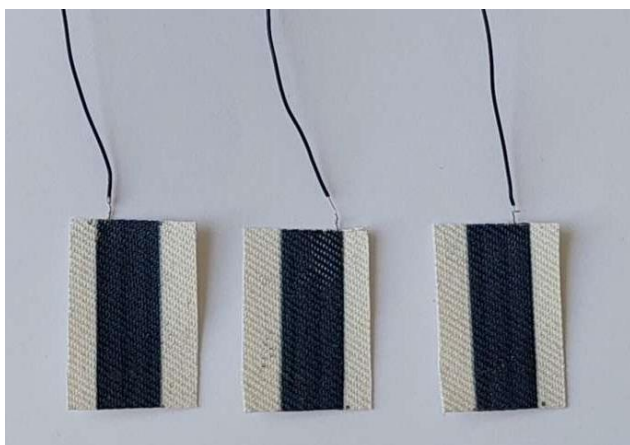


Рис. Г.8. Рукавички з текстилю SWEET для моніторингу фізіологічних показників людини, Університети Ексетеру, Кембриджу, Лідеу та Бату, грудень 2024 р. [293]

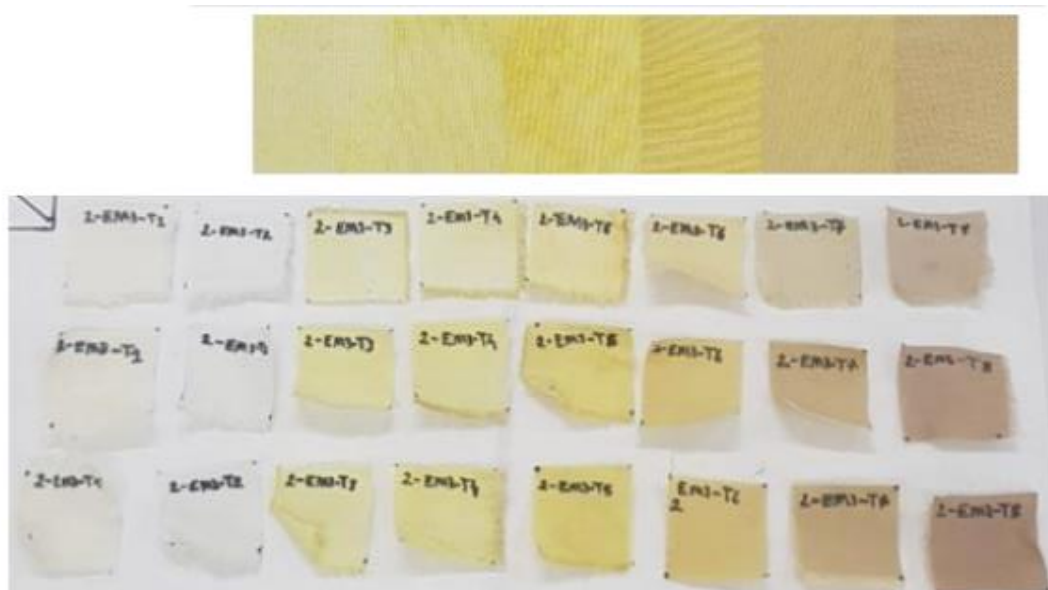


Рис. Г.9. Зразки рН-чутливого смарттекстилю з властивістю зміни кольору, Університет Лілля, Франція, грудень 2023 р. [253]



Рис. Г.10. Схематичне зображення роботи гнучких технологій, здатних генерувати та накопичувати енергію з різних джерел, Американське хімічне товариство [108]

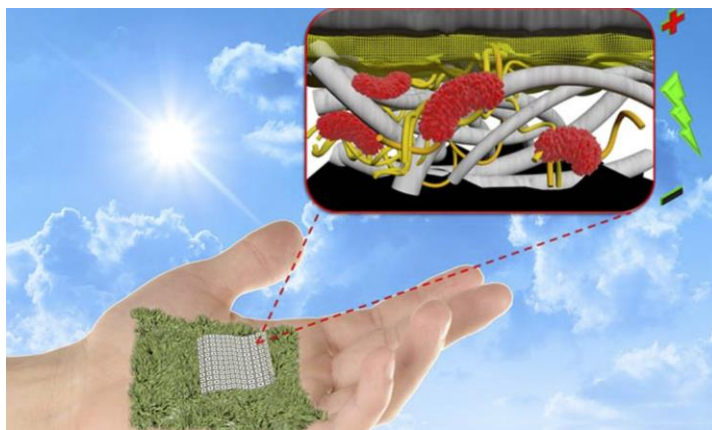


Рис. Г.11. Біобатарея, виготовлена з гібридного поєднання паперу та модифікованих полімерів, Університет Бінгемтона, США, червень 2018 р. [259]

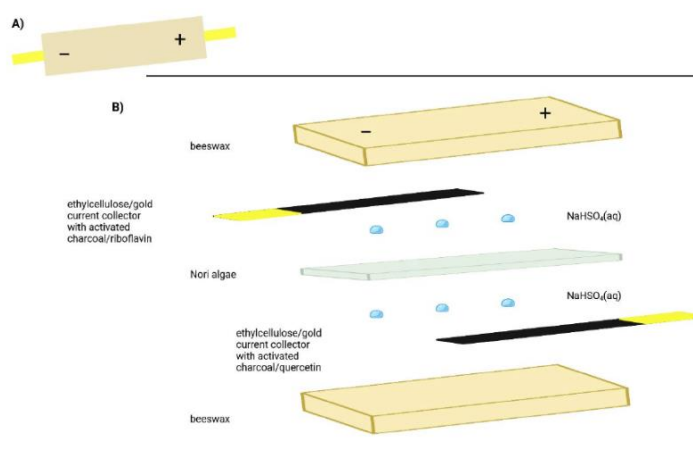


Рис. Г.12. Багатошарова структура батареї, виготовленої з компонентами кверцетин і рибофлавін, Ліонський університет імені Клода Бернара, Франція, серпень 2025 р. [199]

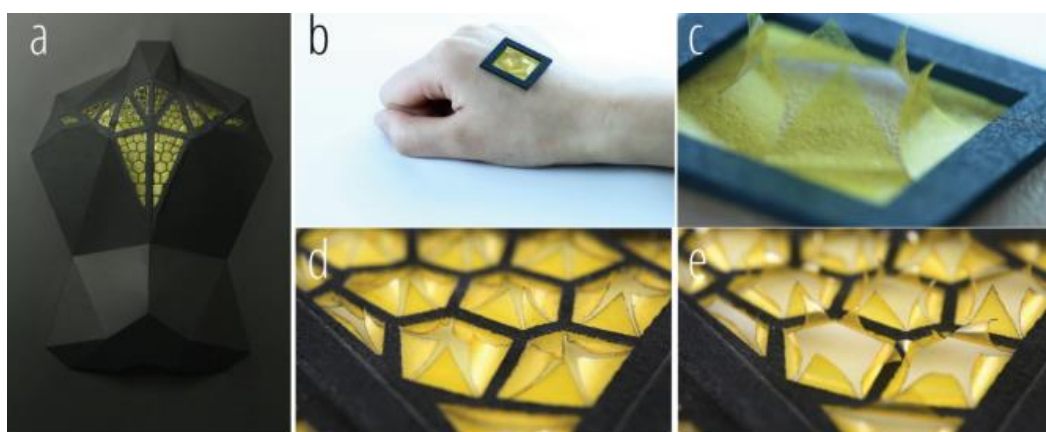


Рис. Г.13. Біоплівка з клітини *Bacillus subtilis natto*, що реагує на підвищену температуру шкіри, Массачусетський технологічний інститут, Коледж комп'ютерних наук і технологій, Китай, квітень 2015 р. [332]

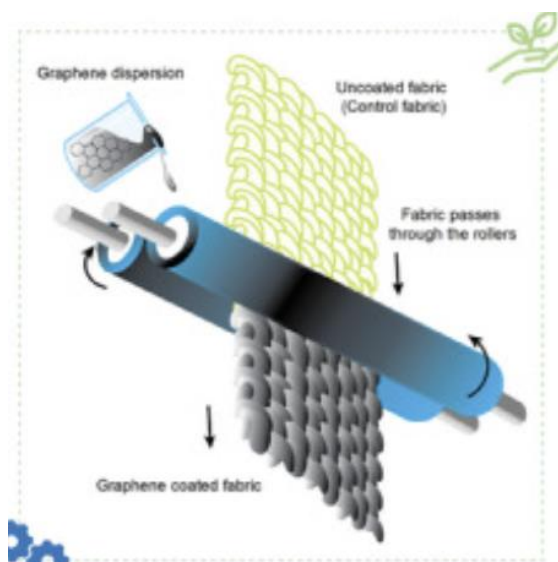


Рис. Г.14. Схема нанесення покриття методом roll-dry на тканину Tencel з дисперсією графену, Університет Західної Англії, Велика Британія, Бангладешський університет текстилю, Бангладеш та ін., жовтень 2024 р. [116]



Рис. Г.15. Модульна система, «Funktion», Німеччина, 2020 р. [122]



Рис. Г.16. Знімний та багаторазовий реєстратор даних пристрій AstroSkin, «Hexoskin», Канада [76]

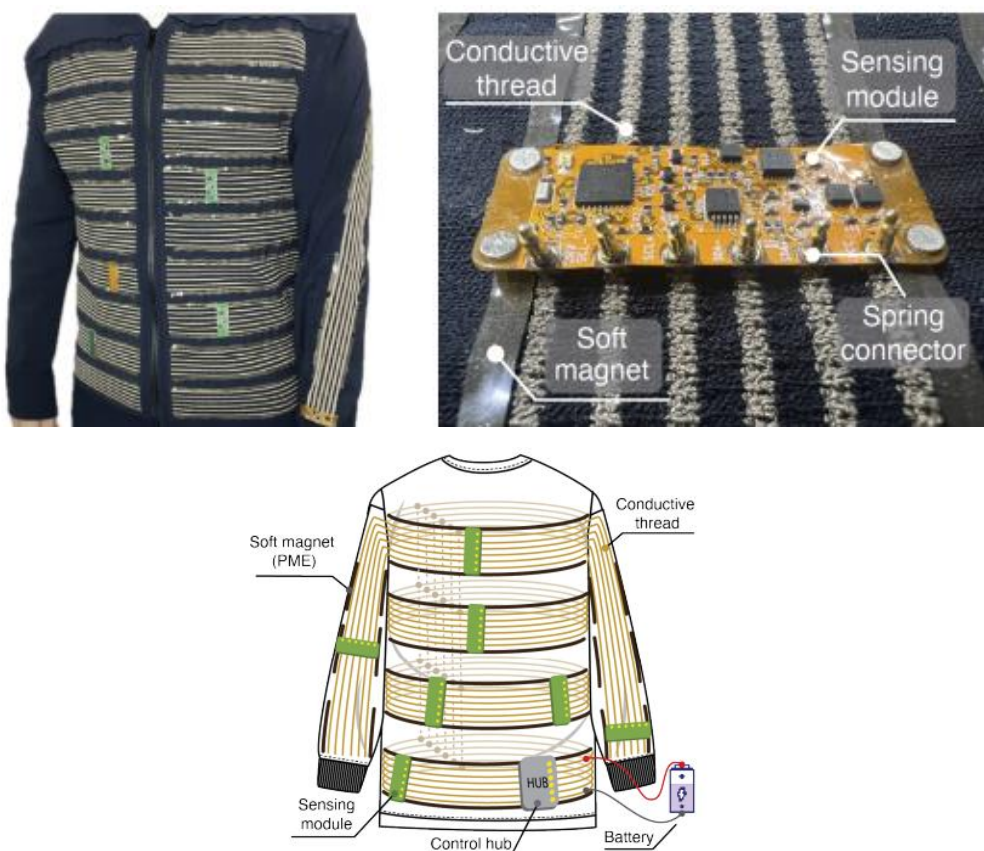


Рис. Г.17. Одяг з електронним текстилем plug-n-play e-knit, Токійський університет, Нагойський технологічний інститут, Японія, грудень 2024 р. [204]

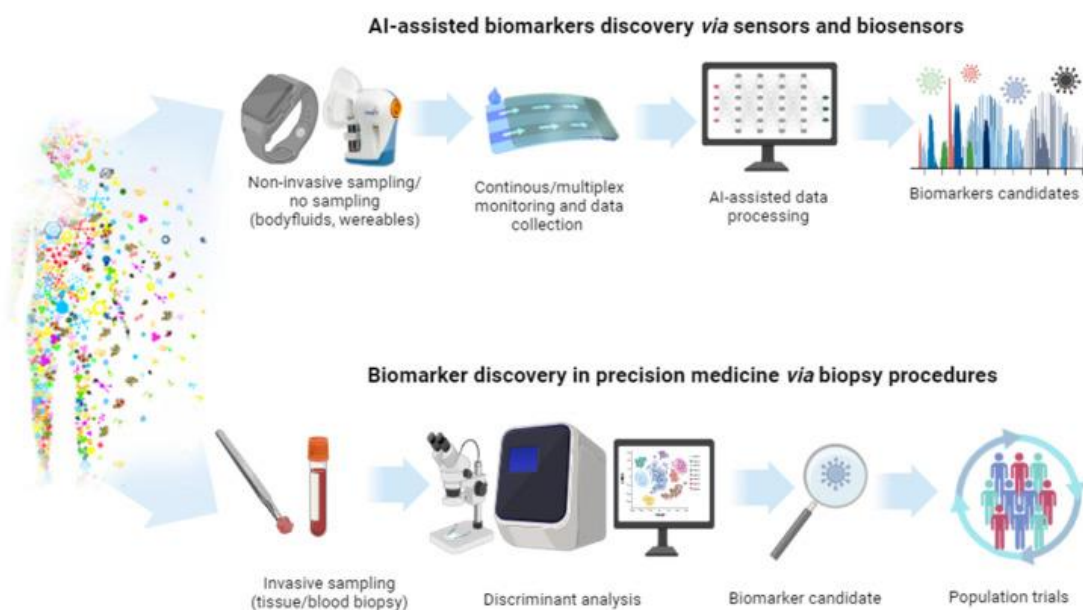


Рис. Г.18. Виявлення біомаркерів за допомогою штучного інтелекту у порівнянні з класичними технологіями, схема авторів Т. Василевський, В. Камиш, Я. Гембіцький [319]

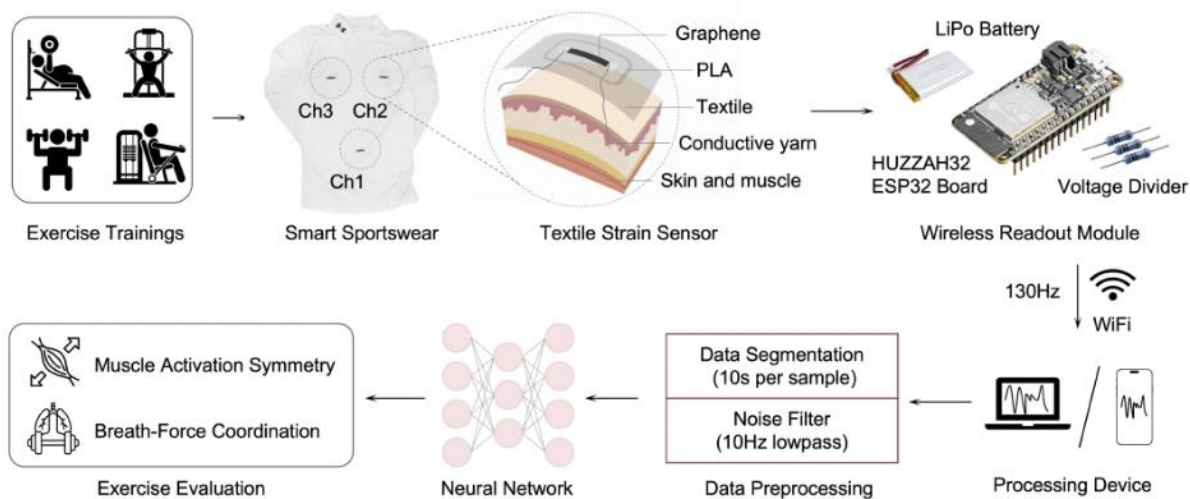


Рис. Г.19. Система спортивного одягу на базі штучного інтелекту для моніторингу фізичної форми в режимі реального часу, Кембриджський університет, Велика Британія, квітень 2025 р. [297]

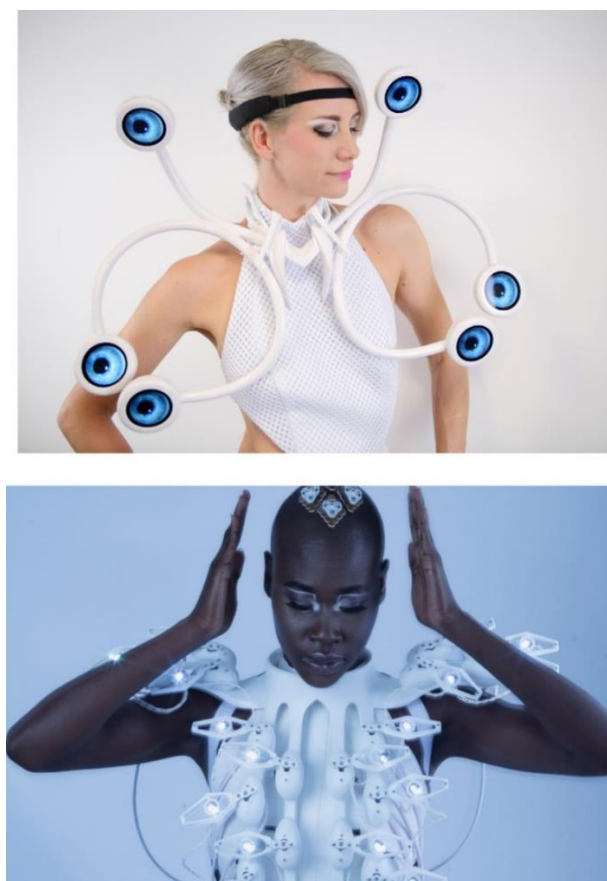


Рис. Г.20. Сукні Screen Dress та Pangolin Scales Dress з технологією інтерфейс «мозок-комп'ютер», Університет Йоганнеса Кеплера, Австрія, березень 2025 р.

[257]

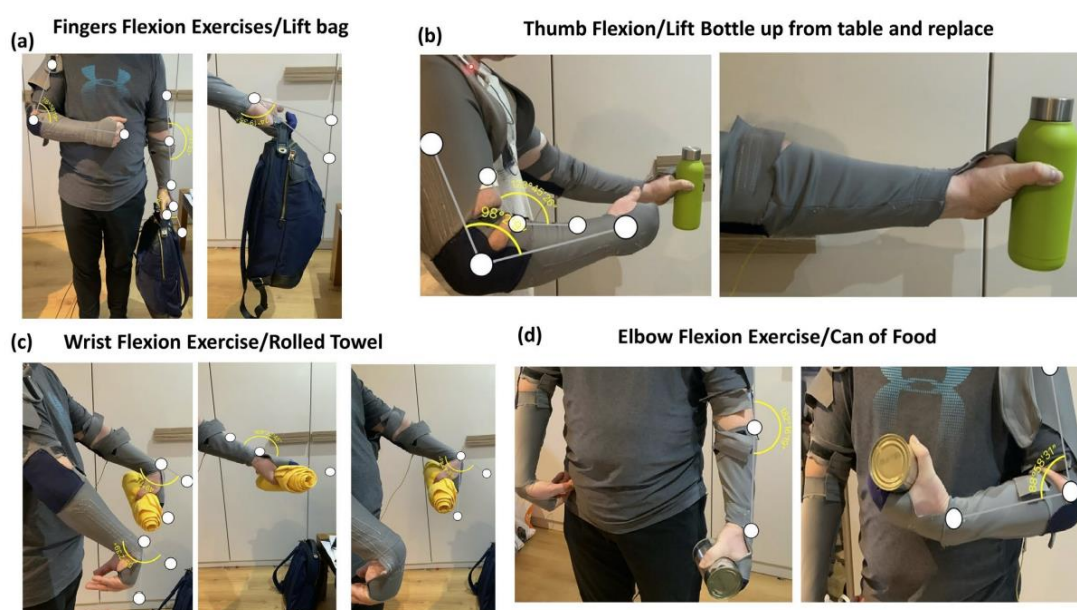


Рис. Г.21. М'який екзоскелет Dynamic Field Programmable Logic-Driven Soft Exosuit, Південно-Східний технологічний університет Ірландія, Університет Небраски, США, лютий 2023 р. [104]

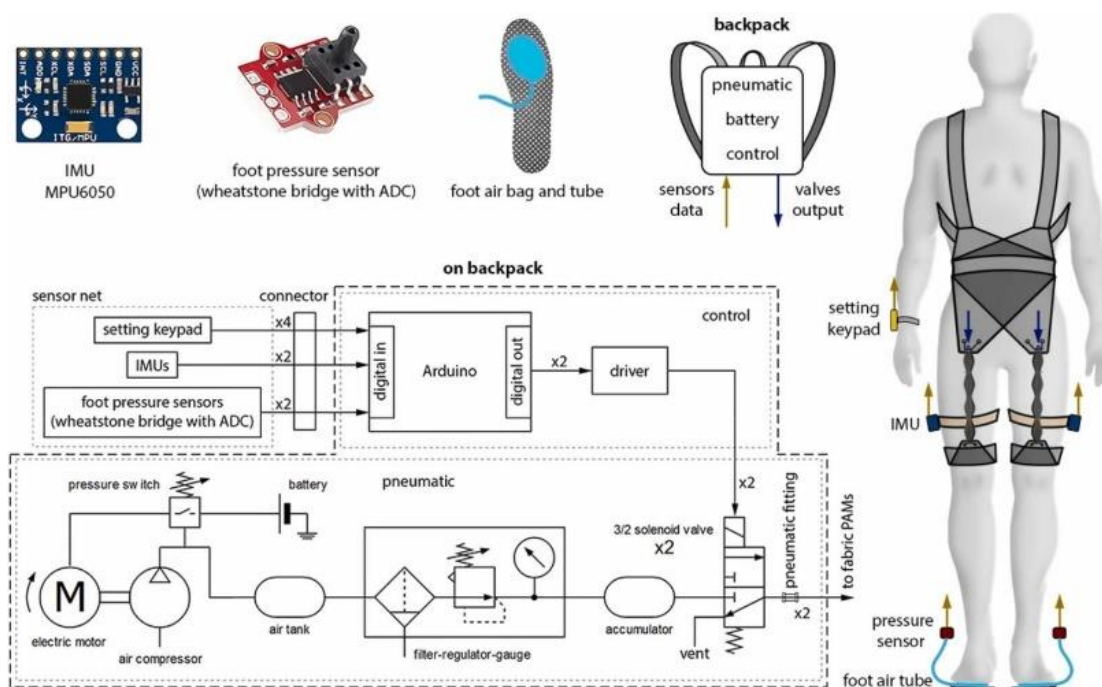


Рис. Г.22. М'який роботизований костюм рPAM-based Soft Wearable Robot, Тегеранський університет, Іран, травень 2024 р. [80]

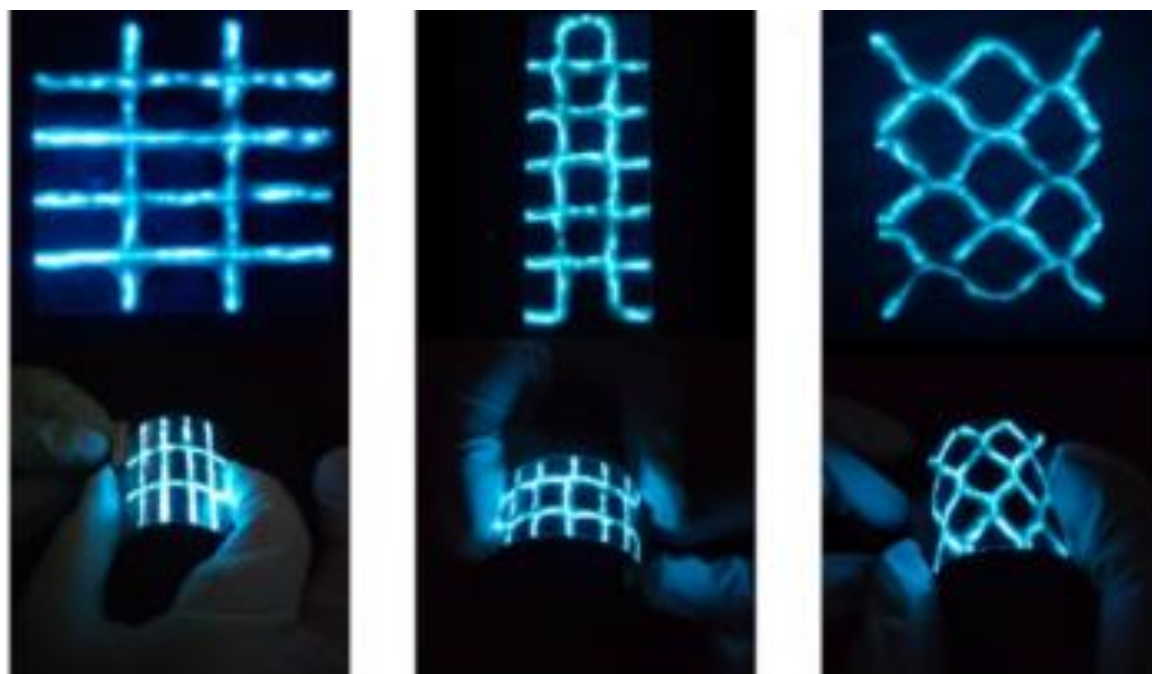


Рис. Г.23. Текстильні матеріали на основі графенових волокон, Манчестерський університет, Велика Британія, січень 2025 р. [341]



Рис. Г.24. Інтелектуальне спортивне обладнання на основі текстильних матеріалів з автономним живленням, Китайська наукова академія, Китай, липень 2019 р. [114]

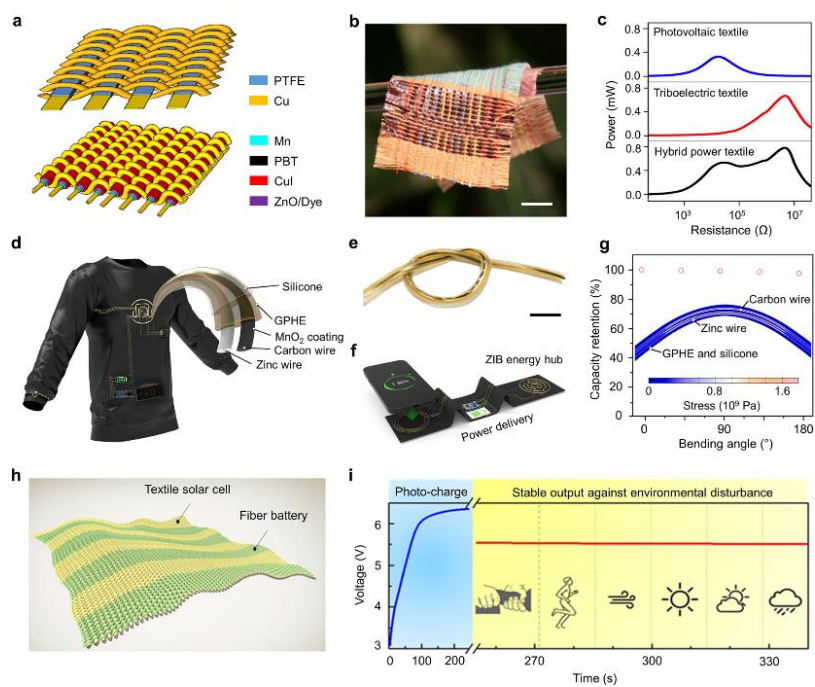


Рис. Г.25. Текстиль для збору/накопичення енергії як стійке джерело живлення для автономного біомоніторингу, Каліфорнійський університет, липень 2023 р.

ДОДАТОК Д



Рис. Д.1. Хронологія розвитку смарттехнологій у дизайні одягу у період 1960-2000 рр.



Рис. Д.2. Хронологія розвитку смарттехнологій у дизайні одягу у період 2001-2009 рр.



Рис. Д.3. Хронологія розвитку смарттехнологій у дизайні одягу у період 2010-2020 рр.

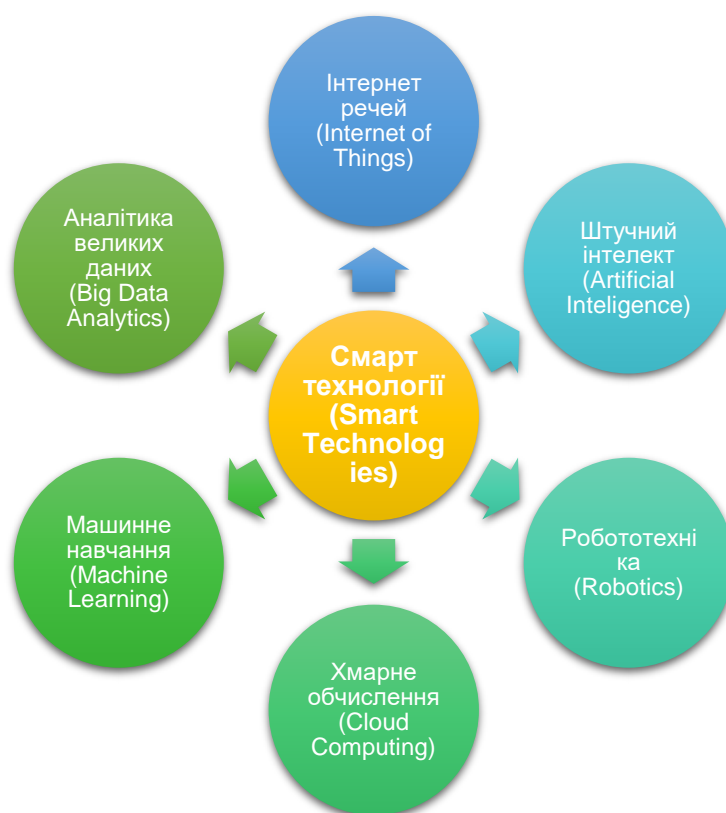


Рис. Д.4. Напрями смарттехнологій за К. В. Akhilesh, Dietmar P. F. Möller

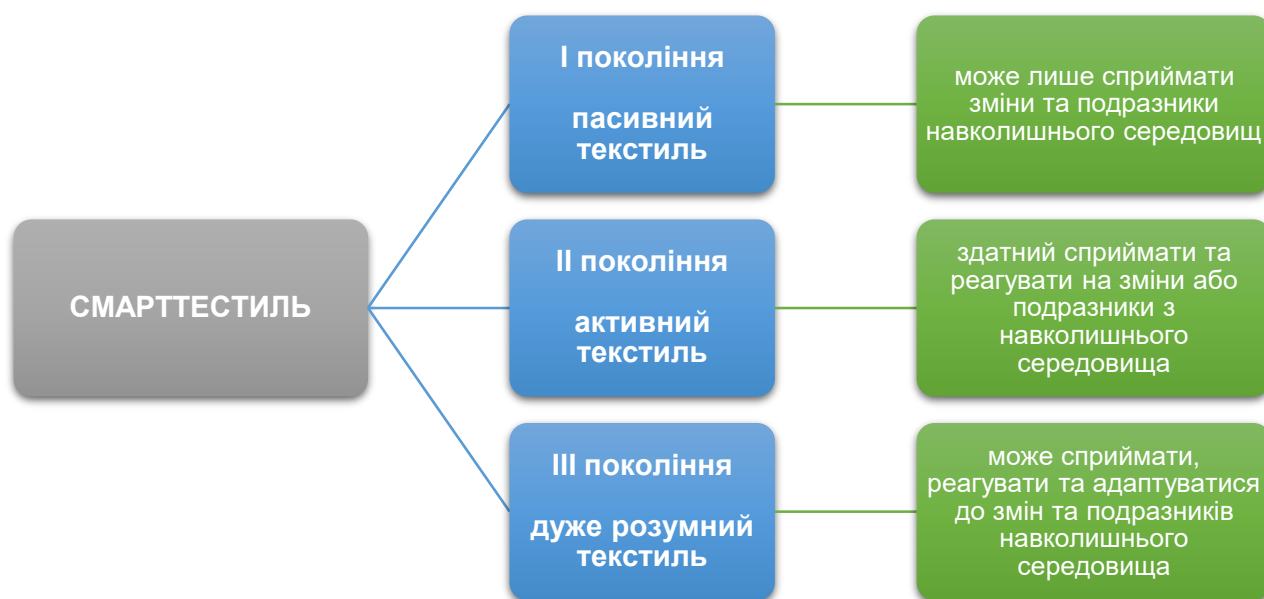


Рис. Д.5. Класифікація смарттекстилю за рівнем розвитку та функціями

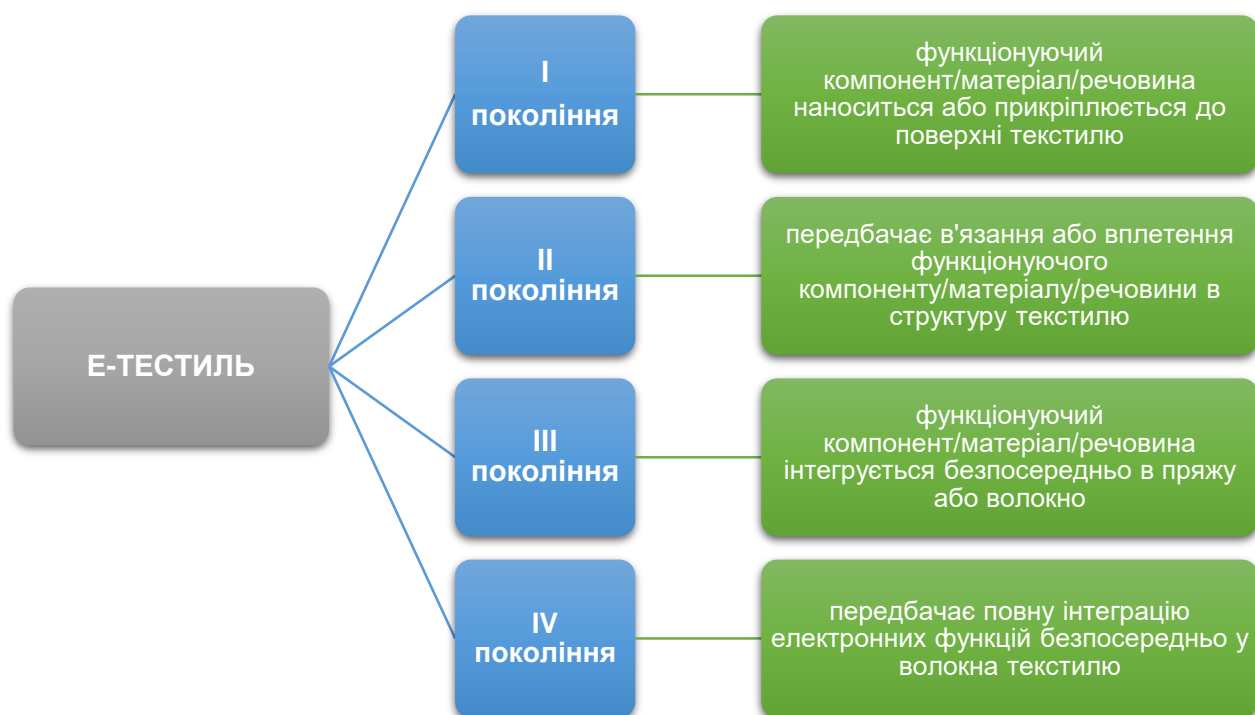


Рис. Д.6. Класифікація електронного текстилю за ступенем інтеграції

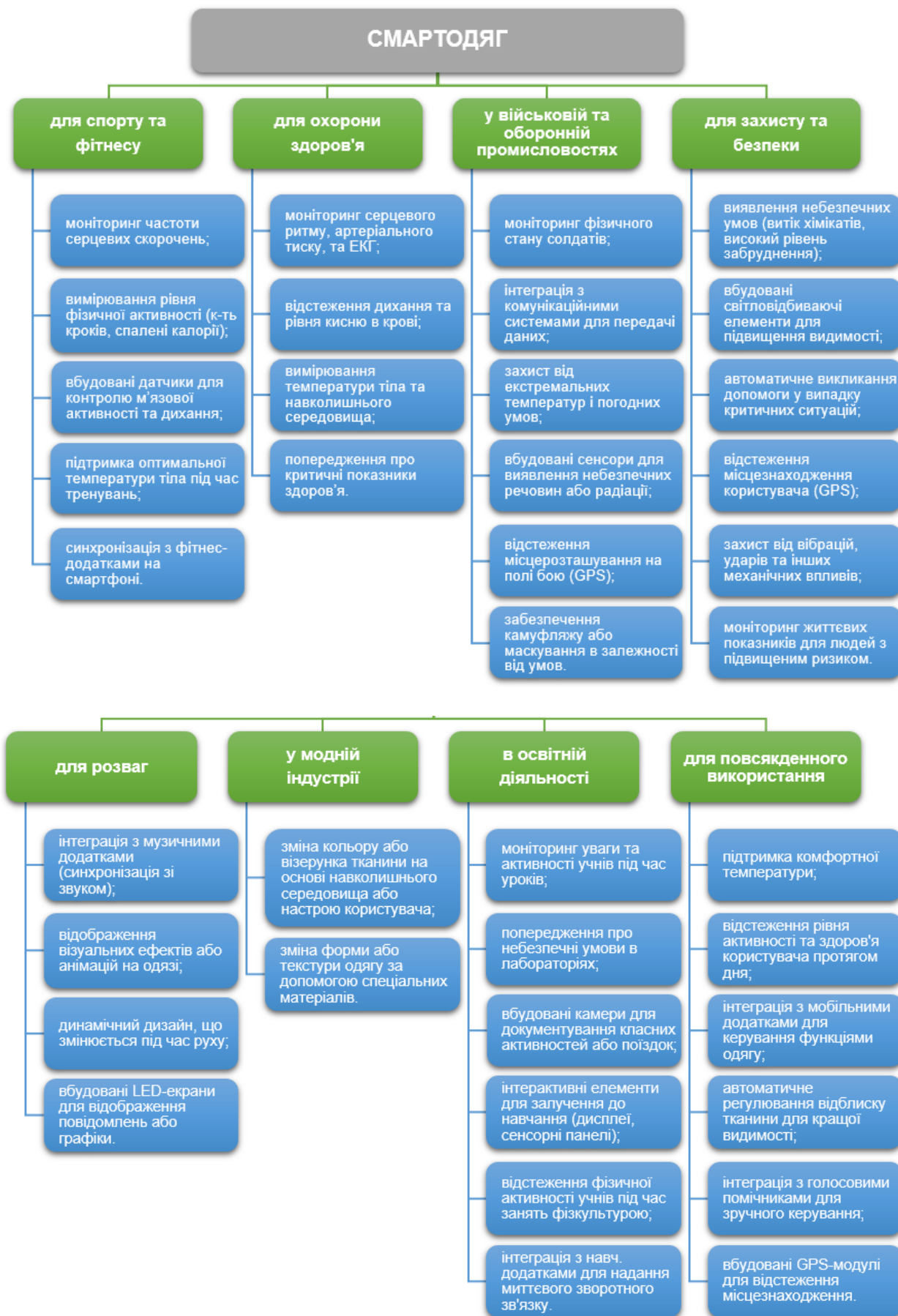


Рис. Д.7. Класифікація смартодягу за сферою використання та функціями

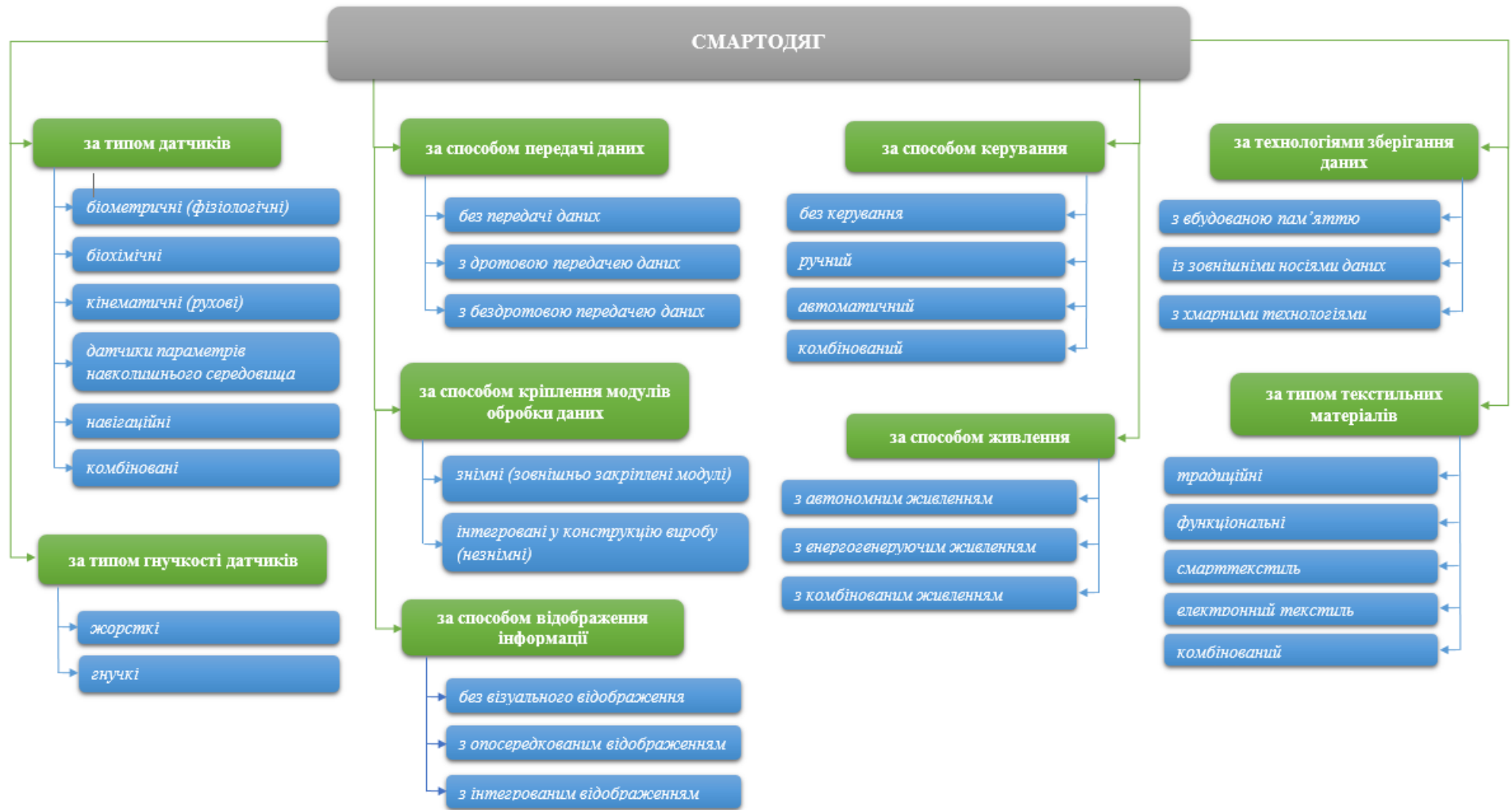


Рис. Д.8. Типологія смартодягу на основі його технічної та матеріальної складових

Визначення завдання на розробку моделі смартодягу

- аналіз характеристик цільового споживача;
- визначення застосування та функцій смартодягу;
- вибір виду та типу одягу для проектування

Виконання передпроектних досліджень

- проведення маркетингових досліджень;
- вивчення тенденцій сучасної моди, інновації у сфері дизайну, кольорової гами, силуетів, функціонального наповнення;
- проведення аналізу новітніх технологій;
- дослідження нових матеріалів та фурнітури;
- встановлення вимог до виробу

Розробка ескізу та первинного креслення (схеми) роботи моделі

- створення ескізу зовнішнього вигляду;
- розробка креслення (схеми), що відображає структуру роботи інтегрованих пристроїв;
- узгодження між зовнішнім дизайном та технічним кресленням (схемою)

Розробки першого макета

- розробка первинних лекал та виготовлення макету зовнішнього вигляду виробу;
- уточнення технічних параметрів;
- вносення уточнення та змін до зовнішнього вигляду та креслення (схеми) роботи інтегрованих пристроїв у модель

Розробка другого макету

- створення оновленого зразка, який враховує всі внесені уточнення;
- проведення перевірки роботи пристрою в динаміці;
- виявлення проблем, після яких здійснюється модифікація та доопрацювання зразка

Виготовлення остаточних лекал та схем роботи інтегрованих пристроїв

- створення точних лекала всіх деталей виробу;
- формування кінцевого креслення (схеми) інтеграції смартелементів

Затвердження та виготовлення остаточного зразка

- перевірка злагодженої роботи усіх модулів смартодягу;
- у разі успішного тестування зразок проводиться офіційне затвердження

Розробка проектно-конструкторської документації

- технічний рисунок та опис виробу;
- схеми та креслення роботи інтегрованих смартелементів;
- конфекційна карта матеріалів;
- технологічна послідовність виготовлення виробу, а також інструкція монтажу смартелентів;
- перелік обладнання та приладів до виготовлення;
- остаточні лекала;
- вимоги щодо перевірки якості виготовлення виробу.

Впровадження моделі у виробництво

- налаштування технологічних процесів, організація постачання матеріалів і компонентів, навчання персоналу для роботи з новими технологіями та специфічними вимогами смартодягу;
- контроль на відповідність вимогам безпеки та якості;
- тестування готових виробів для перевірки їхньої працездатності, функціональності та довговічності
- запуск смартодягу у серійне виробництво та його готовність до виходу на ринок

Рис. Д.9. Основні етапи дизайн-проективання смартодягу

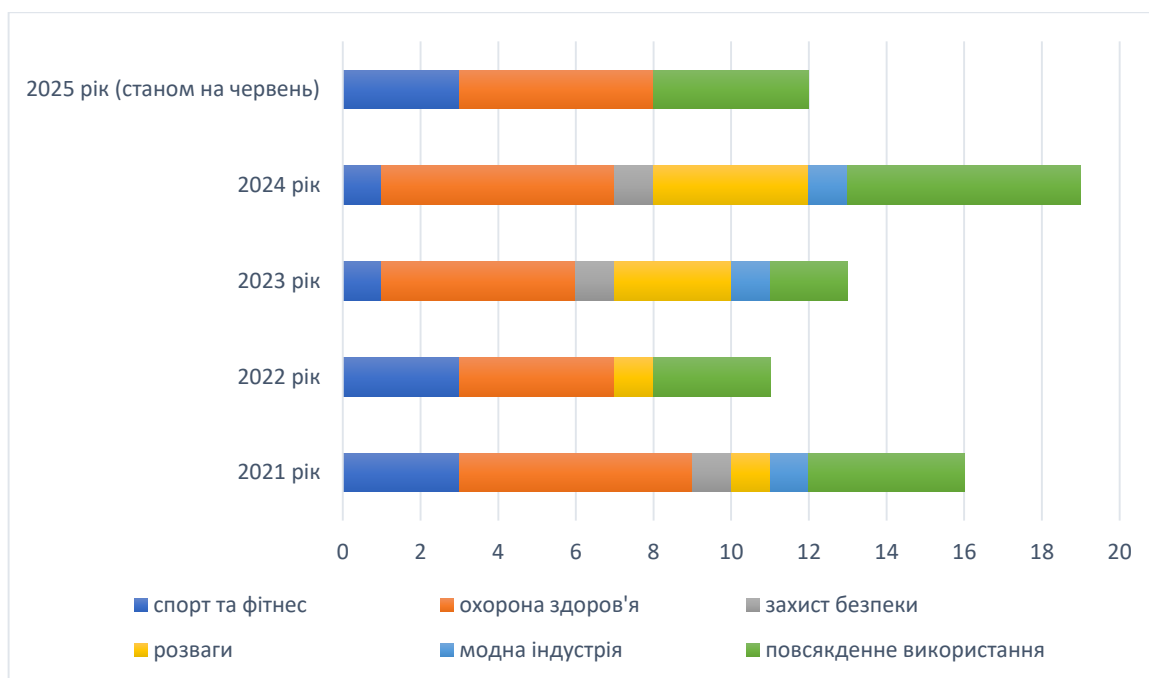


Рис. Д.10. Тенденції розробок смартодягу за сферою використання за період з січня 2021 по червень 2025 рр.

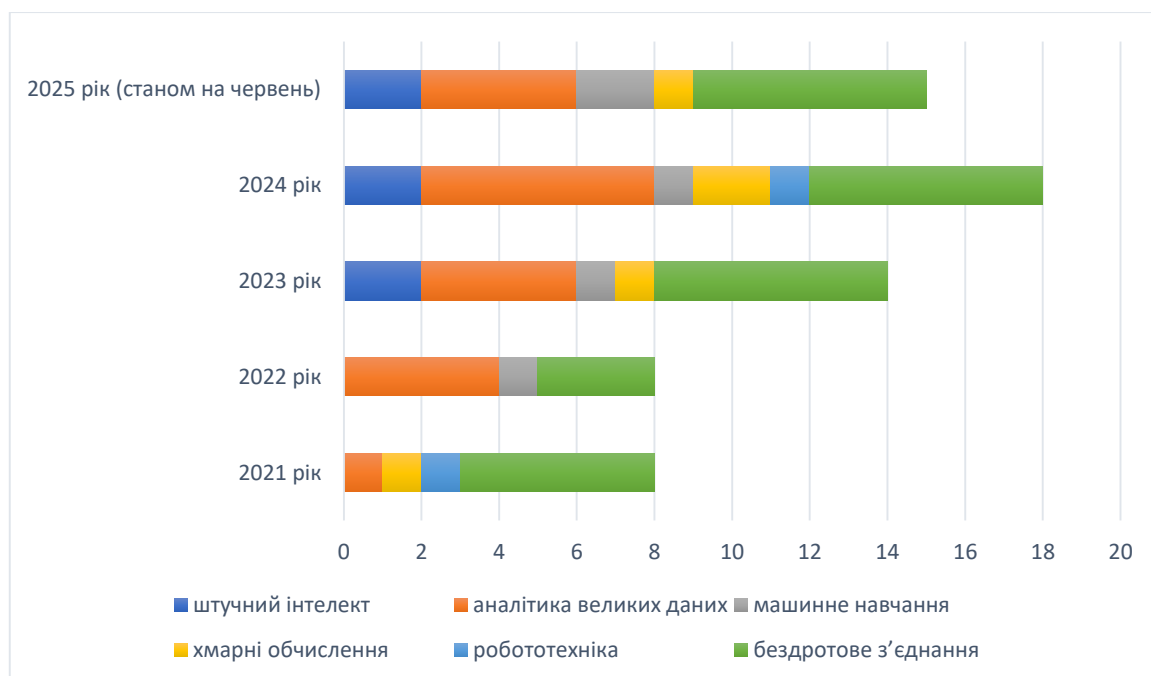


Рис. Д.11. Тенденції використання технологічних рішень за період з січня 2021 по червень 2025 рр.

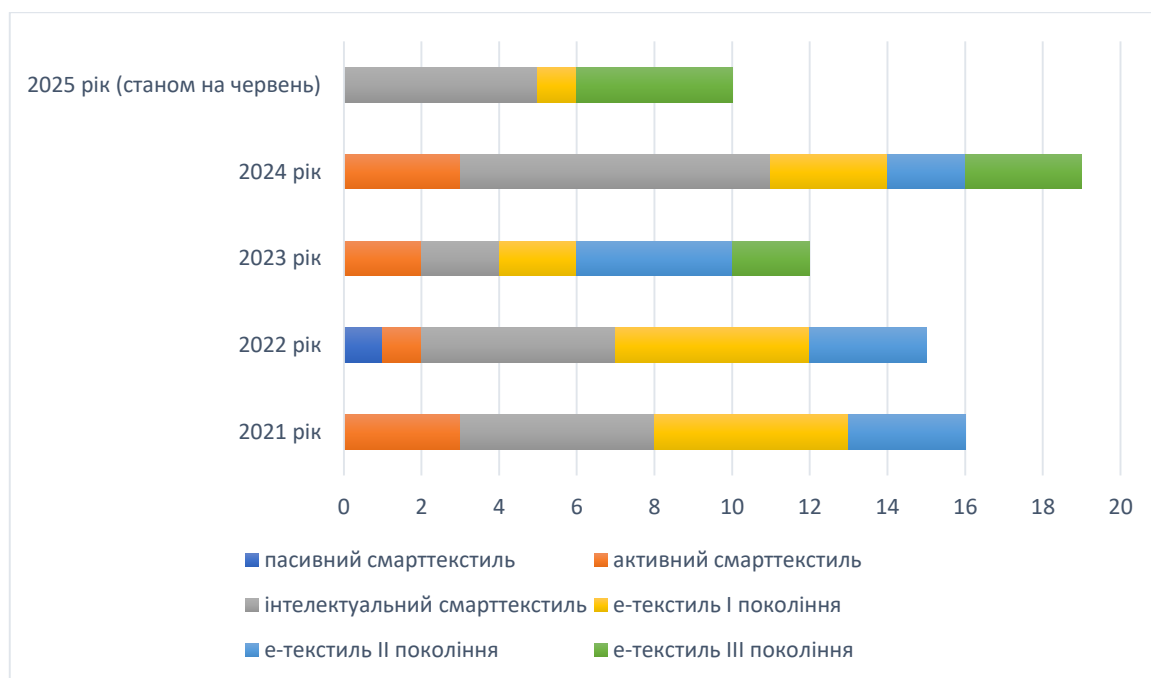


Рис. Д.12. Тенденції використання різних типів смарттекстилю та е-текстилю за період з січня 2021 по червень 2025 рр.

ДОДАТОК Е

Таблиця Е.1


Характеристика складових смарттехнологій

Складові смарттехнології	Значення	Приклади використання
Інтернет речей (Internet of things (IoT)) 	мережа пристроїв із датчиками та програмним забезпеченням, які з'єднуються з іншими пристроями в мережі та обмінюються даними в режимі реального часу	носимі пристрої і смартодяг для збору фізіологічних показників (пульс, температура тіла, частота дихання, артеріальний тиск) і поведінкових параметрів (рухова активність, положення тіла, патерни сну, рівень стресу)
аналітика великих даних (big data analytics) 	обробляє та структурує величезні обсяги даних IoT, перетворюючи їх у корисну аналітичну інформацію	формування аналітичних звітів і прогнозів для раннього виявлення захворювань, оптимізації спортивних тренувань, підвищення продуктивності праці, оцінки змін фізичної активності у страхових і правових випадках
штучний інтелект (artificial intelligence) 	аналізує та інтерпретує дані IoT, виявляючи закономірності та оптимізуючи прийняття рішень	прогнозування ризиків для здоров'я, персоналізовані рекомендації щодо фізичної активності, сну та відновлення, адаптація функцій смартодягу до індивідуальних потреб користувача
машинне навчання (machine learning) 	використовує дані IoT для створення самонавчальних моделей, що прогнозують та адаптуються до змінних умов	автоматичне виявлення закономірностей у даних носимих пристроїв (наприклад, патерни сну чи активності), оптимізація планів тренувань або лікування, адаптивна настройка роботи пристроїв
хмарні обчислення (cloud computing) 	забезпечують зберігання та обробку даних IoT на віддалених серверах для швидкого доступу та аналізу	централізоване зберігання великих обсягів даних зі смартодягу та інших IoT-пристроїв, доступ до даних для лікарів, тренерів і дослідників, аналіз показників у реальному часі
робототехніка (robotics) 	інтегрує IoT, AI та машинне навчання для створення автономних систем, що здатні виконувати складні завдання без участі людини,	носимі екзоскелети для підтримки та посилення рухів людини, реабілітаційні системи з сенсорним контролем, адаптація рухів у реальному часі відповідно до стану користувача



Характеристика технічної складової смартодягу

Підсистеми та модулі	Функції модулів інтелектуальних підсистем	Носії модулів інтелектуальних підсистем
Підсистема збору та отримання інформації		
<ul style="list-style-type: none"> сенсорний модуль 	перетворення неелектричних сигналів у електричні	<i>датчики відстежування руху, жестів і положення користувача або його оточуючих, датчики моніторингу фізіологічних параметрів організму, датчики збирання даних про зовнішні фактори середовища та ін.</i>
<ul style="list-style-type: none"> модуль розташування 	визначення місцезнаходження користувача	<i>технології GNSS, GPS та ін</i>
Підсистема передачі та обробки даних		
<ul style="list-style-type: none"> модуль зв'язку 	передача даних, отриманих від датчиків, на зовнішні пристрої або сервери	<i>антени для передачі даних, технології бездротового зв'язку Bluetooth, WiFi, NFC та ін.</i>
<ul style="list-style-type: none"> модуль обробки даних 	аналіз та інтерпретацію інформації, зібраної датчиками	<i>мікроконтролери або вбудовані процесори та ін.</i>
Підсистема прийняття та реалізації рішень		
<ul style="list-style-type: none"> модуль управління 	прийняття рішень на основі отриманих даних	<i>центральні процесори, мікроконтролери, програмовані вентильні масиви, інтегральні схеми для конкретних додатків, системи на кристалах та ін.</i>
<ul style="list-style-type: none"> виконавчий модуль 	виконання команд, сформованих модулем управління	<i>візуальні індикатори, звукові пристрої та механічні приводи, резистивні нагрівачі, термоелектричні матеріали та ін.</i>
<ul style="list-style-type: none"> модуль відображення 	візуальний зворотний зв'язок із користувачем	<i>дисплеї, мобільні пристрої та ін.</i>
Підсистема енергозабезпечення та зберігання даних		
<ul style="list-style-type: none"> модуль живлення 	енергопостачання всіх підсистем	<i>акумуляторні батареї, суперконденсатори та енергозбираючі технології, такі як гнучкі сонячні панелі, термоелектричні генератори, п'єзоелектричні матеріали та ін.</i>
<ul style="list-style-type: none"> модуль зберігання даних 	тимчасове або постійне зберігання даних	<i>внутрішня пам'ять або віддалене хмарне сховище</i>

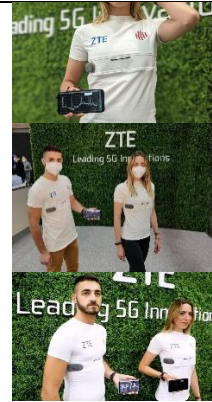
Аналіз сучасних закордонних розробок смартодягу за період з січня 2021 до червня 2025 року

№	Виробник, дата	Вид одягу, сфера використання, функції	Зовнішні характеристики	Технологічні характеристики	Фото
1	2	3	4	5	6
1	Ogoro Heated Apparel (Лас-Вегас, США), березень 2021*	Жилет. Для повсякденного використання. Підтримка комфортної температури тіла.	Матеріали: основний - 100% нейлон з водонепроникною обробкою, наповнювач - утеплювач FELLEX, підкладка - 100% поліестер з антистатичною обробкою. Колір: чорний, білий, сірий, хакі та ін. Конструкція: довжина до стегон, пілочка та спинка з рельєфами, на пілочці центрально застібка-блискавка, кишені у шві із потайними застібками-блискавками; комір-стійка для захисту від вітру.	Технологія: підігріву з нагрівальними елементами з вуглецевого волокна у 4-х зонах: ліва та права кишені, комір, верхня частина спинки. Режими нагріву: високий, середній, низький. Живлення: акумулятор Mini 5K (7,4 В, 4800 мА·год), зарядка USB-C (~4 год), вихід USB-A для гаджетів. Управління: кнопка на грудях з LED-підсвіткою для перемикання режимів, автоматичне вимкнення при перегріві. Час роботи: до 10 роб/год.	





Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
2	<p>Myovolt (Крайстчерч, Нова Зеландія), травень 2021*</p>	<p>Бандаж для спини, плечей, рук та ніг.</p> <p>Для спорту та фітнесу, для охорони здоров'я.</p> <p>Зняття скутості і крепатури за рахунок посилення мікроциркуляції в м'язах і ділянках м'яких тканин</p>	<p>Матеріали: бандаж Myovolt Wrap - м'який еластичний неопрен; змінний вібраційний модуль Myovolt – електроніка.</p> <p>Колір: чорний для Myovolt Wrap, помаранчевий для Myovolt.</p> <p>Конструкція: застібки Велкро для регулювання прилягання до тіла.</p>	<p>Технологія: Wearable Vibration Technology - запатентована технологія, створена для стимуляції м'язів.</p> <p>Живлення: Li-Po акумулятор, USB-зарядка (~3 год).</p> <p>Режими: посилення кровообігу; полегшення болю та скутості; розігрів м'язів та збільшення гнучкості.</p> <p>Управління: LED-перемикач керування.</p> <p>Час роботи: 8-10 циклів (1 цикл = 10хв).</p>	
3	<p>Purdue University (Вест- Лафайетт, США), червень 2021*</p>	<p>Традиційні текстильні вироби, перетворені на смартодяг.</p> <p>Для повсякденного використання, для охорони здоров'я.</p> <p>Бездротова передача даних.</p>	<p>Матеріали: традиційні, технологія не впливає на структуру чи колір базового матеріалу, зберігається гнучкість, еластичність, повітропроникність.</p> <p>Покриття: ультратонкий фторований (Universal omniphobic) або гідрофобний/олефобний шар, який відштовхує воду, олію, бруд.</p>	<p>Технологія: смартодяг Purdue приводиться в дію бездротовим способом через гнучку котушку на основі шовку, пришиту до текстилю.</p> <p>Живлення: не потребує батарейок для живлення, збирає енергію з Wi-Fi або радіохвиль у навколишньому середовищі.</p>	


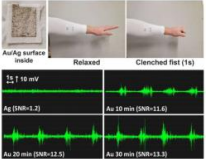
Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
4	ZTE Corporation (Гонконг та Шеньчжен, Китай), у партнерстві з: AccYouRate Group, Red Cross Italy, Let's Web-earable Solutions (Італія), BSP-Medical (Ізраїль), червень 2021*	Футболка YouCare Для охорони здоров'я. Виявлення ключових біопозначників тіла людини – ЕКГ, дихання, піт, м'язову активність і температуру.	Матеріали: основний – медичний текстиль, сенсори – полімерний матеріал. Колір: білий. Конструкція: класичний крій футболки з короткими рукавами, сенсори інтегровані в тканину по зонах грудної клітки та тулуба. Мініатюрний знімний керуючий модуль ("smart tag") розташований збоку або на грудях.	Технологія: за допомогою інтегрованих у тканину сенсорів можна виявляти ключові біологічні параметри тіла людини та передавати їх завдяки 5G. Живлення: дані обробляються і живляться через мініатюрний знімний модуль («smart tag») із вбудованою батареєю. Управління: smart tag конвертує та передає дані через 5G-мережу до смартфонів, медцентрів або диспетчерів.	
5	Ralph Lauren (Нью-Йорк, США), липень 2021*	Куртка прапороносця команди США для Паралімпійських ігор Для спорту. Розсіювання тепла від шкіри користувача	Матеріали: бавовна. Колір: білий з елементами національної символіки Team USA. Конструкція: класичний силует із вшитим компактним охолоджувальним модулем у зоні спини (між плечима).	Технологія: система RL Cooling розсіює тепло від шкіри користувача за допомогою пристрою, який контролює та оптимізує температуру. Живлення: батарея. Управління: автоматичне регулювання температури (самоналаштується залежно від температури тіла користувача).	



Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
6	Verve Motion (Кембридж, США), липень 2021*	Екзокостюм. Для захисту безпеки (логістика, складські операції, підйом вантажів). Зменшення навантаження на спину працівника на 30–40 % за день.	Матеріали: технічний текстиль. Колір: чорний. Конструкція: нагадує рюкзак із ременями, що фіксується на плечах і стегнах; мінімізована вага (≈ 2.7 кг) і швидке надягання/знімання (<30 сек).	Технологія: SafeLift – програмне рішення, яке поєднує в собі датчик руху в режимі реального часу з роботизованою допомогою. Режими: 3 програмовані налаштування допомоги. Живлення: батарея RRC 2054. Управління: вбудовані датчики руху й сили, аналіз даних через Verve Logic (хмарний софт). Час роботи: понад 12 роб. год.	 
7	Н.Е.А.Т. (Heated Electronic Active Technology) (Грейт-Фоллс, США), серпень 2021*	Костюм (куртка та штани). Для повсякденного використання, спорту та фітнесу, у військовій та оборонній сферах. Підтримка комфортної температури тіла.	Матеріали: основний/підкладка (1 шар) - 46% поліестер, 42% суплекс, 12% спандекс з вологовідвідом, ізольовані кишені - (неопрен) 91% поліестер, 9% спандекс. Колір: сірий, чорний. Конструкція: прилеглий силует, плоскі шви, по 2 бічні кишені для батареї на ділянках грудей та стегон.	Технологія: FabRoc - нагрівальна технологія, яка саморегулюється в 13 варіантах, випромінює у далекому інфрачервоному спектрі. Зони нагріву: розташовані над ключовими артеріями. Живлення: CorePower водостійкий літій-полімерний акумулятор. Управління: Bridge CPU блок із Bluetooth у водозахищеному поліуретановому корпусі, яким керують через мобільний додаток. Час роботи: до 8 год.	 

Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
8	<p>German Aerospace Center (DLR) (Кельн, Німеччина) у співпраці з DSI Aerospace Technologie (Бремен, Німеччина), Bielefeld University (Білефельд, Німеччина) та Hohenstein (Беннігайм, Німеччина) жовтень 2021*</p>	<p>Сорочка</p> <p>Для космічної сфери, для охорони здоров'я.</p> <p>Передача фізіологічних даних астронавтів через бездротову мережу для оцінки впливу космічного середовища на серцево-судинну систему людини.</p>	<p>Матеріали: еластична, зручна тканина, що максимально підходить для умов космосу.</p> <p>Колір: синій.</p> <p>Конструкція: прилеглий силует, короткі рукави, комір стійка, застібка-блискавка у верхній частині переду, кишеня для радіопередавача з обробкою верхнього зрізу еластичною тасьмою.</p>	<p>Технологія: SmartTex використовує інтегровані датчики для передачі фізіологічних даних астронавтів на Землю через бездротову мережу зв'язку.</p> <p>Зони розміщення датчиків: ділянки сонної артерії та серця.</p> <p>Живлення: сенсорні та мережеві модулі живляться від батарей, вбудованих у мережеву систему WICO2 на борту МКС або від станцій МКС</p> <p>Управління: дані бездротово передаються через IR-UWB мережу Wireless Compose-2, контроль здійснюється дистанційно на Землі.</p>	
9	<p>University of Utah (Солт-Лейк-Сіті, США), листопад 2021*</p>	<p>Компресійні рукави, шкарпетки, велосипедні штани.</p> <p>Для охорони здоров'я.</p> <p>Вимірювання м'язової активності.</p>	<p>Матеріали: традиційний текстиль, виготовлений із суміші бавовни та поліестеру.</p> <p>Покриття: мікроскопічний шар срібла, додаткове золоте покриття.</p> <p>Конструкція: прилегла до тіла користувача.</p>	<p>Технології: перетворення тканини одягу на біосенсори, які вимірюють електричну активність м'язів під час їх носіння.</p> <p>Зони наплення: ділянки м'язів. Шар срібла наноситься на тканину. Ділянки датчиків прикріплюються до проводів і портативного пристрою для електроміографії.</p>	




Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
10	Муант (Торонто, Канада) в партнерстві з PACE Cardiology Clinic (Онтаріо, Канада), грудень, 2021*	<p>Нижня білизна</p> <p>Для охорони здоров'я.</p> <p>Моніторинг серцевого ритму, дихання, температури тіла, постави, сну.</p>	<p>Матеріали: бюстгалтер: 74% поліестер, 14% спандекс, 10% нейлон, 2% інше, труси: 93,7% бамбук та 6,3% спандекс.</p> <p>Також містить вплетені карбон та струмопровідну нитку срібла.</p> <p>Колір: чорний.</p> <p>Конструкція: seamless трикотаж, що щільно облягає тіло; панелі модулів (Osmotex) інтегровані як частина/вставка верхнього шару.</p>	<p>Технологія: Skiin має датчики електрокардіограми у еластичному поясі, одяг фіксує цю інформацію та надсилає її на Pod, який сам містить датчики рівня активності. Pod збирає всі дані про здоров'я та безпечно та регулярно надсилає їх у додаток Skiin Connected Life.</p> <p>Управління: Через мобільний додаток Skiin Connected Life.</p>	
11	Iga Węglińska (Краків, Польща), грудень 2021*	<p>Боді.</p> <p>У модній індустрії, для розваг, для повсякденного використання.</p> <p>Змінює колір залежно від температури тіла, рівня стресу, рухів та емоцій.</p>	<p>Матеріали: комбіновані — термохромні тканини, полімери, conductive thread, ламіновані електронні елементи, інтегровані LEDs</p> <p>Колір: нюд-відтінки; первинний чорний топ стає прозорим/світлим при розігріві.</p> <p>Конструкція: одне боді приталеного силуету, з високим коміром, інший «balloon» силует; обидва щільно повторюють контури тіла і мають видимі LED-інтерактивні елементи.</p>	<p>Технологія: пасивно-активна – термохромні матеріали змінюють прозорість; використання GSR; пульсові датчики інтегровані в текстиль;</p> <p>Живлення: зовнішні перезаряджуванні батареї або підживлюють LED й сенсори</p> <p>Управління: система працює автоматично, за даними датчиків LED світлодіодного реагування в залежності від фізіології.</p>	

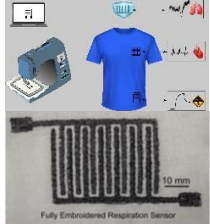

Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
12	<p>Université Laval (Квебек, Канада),</p> <p>січень 2022**</p>	<p>Футболка.</p> <p>Для охорони здоров'я, для спорту та фітнесу.</p> <p>Моніторинг дихання.</p>	<p>Матеріали: текстиль з вбудованою мережею тонких спіральних антен із можливостями Bluetooth.</p> <p>Колір: чорний.</p> <p>Конструкція: приталений силует, рукави довгі реглан, плоскі шви.</p>	<p>Технологія: мережа бездротових антен (датчиків) виявляє деформації, і дані передаються по бездротовому зв'язку на базову станцію для аналізу.</p> <p>Зони датчиків: верхня і нижня частини тулуба. При першому надяганні виявляється датчик, який найкраще підходить для власника.</p> <p>Управління: Bluetooth передає дані на базову станцію для подальшого аналізу.</p>	
13	<p>Graphene Flagship (європейська ініціатива), VTT - Technical Research Centre of Finland (Еспоо, Фінляндія)</p> <p>лютий 2022*</p>	<p>Футболка</p> <p>Для повсякденного використання, для розваг.</p> <p>Дозволяє використовувати футболку як віддалений пульт (телевізор, смартфон тощо), записувати музику, запускати додатки.</p>	<p>Матеріали: стандартний текстильний матеріал з додаванням тонкого шару графенових електродів.</p> <p>Колір: білий.</p> <p>Конструкція: класичний крій футболки.</p>	<p>Технологія: текстильний матеріал покритий графеновим електродом, який утворює сенсорну (дотикову) зону по поверхні, при контакті з якою виникають зміни в електричному полі, що реєструють дотики — аналогічно до сенсорного екрану. Надтонкий й гнучкий графен, дозволяє розтягувати провідні дроти на 10% без втрати провідності.</p> <p>Управління: нативна взаємодія через дотик.</p>	




Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
14	<p>Інженерка та засновниця компанії «Nextwear Technology» Kemisola Bolarinwa (Абуджі, Нігерія)</p> <p>березень 2022*</p>	<p>Бюстгалтер.</p> <p>Для охорони здоров'я.</p> <p>Доволяє виявляти рак молочної залози на ранній стадії.</p>	<p>Матеріали: текстиль, схожий на традиційний бюстгальтер, з інтегрованими ультразвуковими датчиками.</p> <p>Колір: чорний.</p> <p>Конструкція: класичний крій бюстгалтера.</p>	<p>Технологія: ультразвукове сканування з використанням доплерівських датчиків для виявлення змін у тканинах грудей.</p> <p>Живлення: літій-полімерний акумулятор (LiPo).</p> <p>Управління: мобільний додаток отримує дані через компоненти IoT для аналізу та інтерпретації результатів.</p>	
15	<p>Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Systems (Берлін, Німеччина),</p> <p>серпень 2022*</p>	<p>Жилет.</p> <p>Для охорони здоров'я.</p> <p>Реєстрація шуму, що виробляється легеньми в грудній клітці.</p>	<p>Матеріали: медичний текстиль, оснащений п'єзокерамічними акустичними датчиками.</p> <p>Колір: темно-синій.</p> <p>Конструкція: наявні пати на ділянках плечей та збоку, які регулюють щільність прилягання до тіла.</p>	<p>Технологія: вбудовані п'єзокерамічні датчики записують акустичні сигнали легень, які за допомогою цифрової обробки та машинного навчання аналізуються та формується зображення легень із проблемними ділянками за останні 24 год.</p> <p>Зони датчиків: передня та задня частини жилета.</p> <p>Управління: через програмне забезпечення, дані для перегляду лоступні на мобільному пристрої або віддалено через захищений сервер.</p>	 



Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
16	Imperial College London (Лондон, Велика Британія), вересень 2022*	Футболка. Для охорони здоров'я. Моніторинг серцевої активності і рівня аміаку.	Матеріали: інноваційна провідна бавовняна нитка PECOTEX, оброблена PEDOT:PSS для провідності. Конструкція: класичний крій футболки.	Технологія: полягає у вишиванні провідних бавовняних ниток, просочених полімером PEDOT:PSS, безпосередньо в тканину одягу для створення гнучких сенсорів, здатних вимірювати біомедичні показники. Зона датчиків: ділянка серця та нижня ліва частина переду.	 Fully Embroidered Respiration Sensor
17	AI SILK Corporation (Японія) у партнерстві з Kuraray (Японія) жовтень 2022*	Рукавички. Для спорту та фітнесу. Моніторинг життєво важливих показників (пульсу, ЕКГ) під час тренувань.	Матеріали: струмопровідний текстиль, використанням волокон Kuraray. Волокно забезпечує однорідну провідність, має антибактеріальну і протівірусну дію. Колір: чорний. Конструкція: класичний крій рукавичок.	Технологія: струмопровідний текстиль забезпечує високоточне вимірювання життєвих показників (пульс, ЕКГ) у реальному часі через інтегровані текстильні датчики з виведенням даних на мобільні пристрої. Управління: виміряні значення можна виводити на планшет або смартфон в режимі реального часу, оптимізуючи таким чином тренування.	

Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
18	NC State University (Ралі, США), листопад 2022*	Традиційні текстильні вироби, на які нашиті енергогенеруючі нитки. Для фітнесу та спорту, для повсякденного використання. Визначення рухів користувача (хода, біг, стрибок).	Матеріали: основний – традиційна бавовна, вишивка - провідні мідні дроти з поліуретановим покриттям та PTFE. Конструкція: будь-який крій та конструкція, переважно класична.	Технологія: метод отримання електрики під назвою «трибоелектричний ефект», який передбачає використання електронів, якими обмінюються два різні матеріали Тканина PTFE при контакті з мідними проводами з поліуретановим покриттям утворюють електричний струм. Живлення: самопідживлення від руху користувача.	
19	Sundance (Китай), грудень 2022*	Куртка. Для повсякденного використання. Підтримка комфортної температури тіла, масаж тіла, зарядка гаджетів.	Матеріали: основний - тканини Gore-Tex, підкладка - теплопровідна графенова, наповнювач – гусячий пух. Колір: жовтий, сірий. Конструкція: прямий силует, рукав-реглан, на пілочці прорізнi кишени, куртка з коміром-стійкою та капюшоном, по низу куртки куліска, по низу рукавів пати, що регулюють щільність прилягання до тіла та захищають від вітру, застібка центральна на застібку-блискавку з планкою.	Технологія: графенова нагрівна плівка та теплопровідна підкладка з 3-ступеневим контролем температури; інтегрований вібраційний масаж у спині й поясі; надувний комір для підтримки і комфорту шиї. Режими нагріву: 3 рівні. Живлення: вбудована літій-іонна батарея. Управління: кнопка на внутрішній кишени дозволяє вручну переключати підігрів і масаж; надування коміра — тонкою трубкою, що виступає з внутрішньої кишени.	 



Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
20	Carhartt (Дірборн, США), лютий 2023*	Жилет. Для повсякденного використання. Підтримка комфортної температури тіла.	Матеріали: основний - 100 % CORDURA, нейлон; утеплювач — 100 % поліестер; бічні панелі/комір/низ — 3-шаровий софтшелл (поліестер/нейлон, PU плівка) Колір: чорний. Конструкція: прямий силует, комір- стійка, на пілочки прорізні кишені, застібка центральна на застібку- блискавку.	Технологія: clim8 на основі штучного інтелекту автоматично забезпечує нагрівання. Живлення: вбудована літій-іонна батарея (7.4 V, 3000 mAh), ховається в кишені жилета; комплектний зарядний пристрій. Управління: штучний інтелект автоматично регулює температуру. Через Bluetooth відбувається з'єднання з мобільним додатком clim8.	 
21	Стартап Tactus (США/Нідерл анди), лютий 2023*	Жилет, майка (топ). Для охорони здоров'я, для повсякденного використання, для розваг. Перетворення звукових частот у тактильні вібрації по корпусу.	Матеріали: основний - еластичий, дихаючий, легкий, витримує активний рух і потовиділення. Колір: чорний, білий. Конструкція: базовий повсякденний топ, жилет з непомітними вбудованими провідними вставками на ділянках грудей. Жилет містить центральну застібку на застібку- блискавку.	Технологія: пропрієтарна система вібротактильних зон з вбудованими провідними нитками, що конвертують аудіосигнали у чуттєві вібрації – low latency. Живлення: знімна акумуляторна батарея забезпечить вібрацію протягом багатьох годин Управління: Bluetooth-зв'язок із смартфон чи іншим пристроєм для відтворення музики; обробка реалізується у реальному часі.	 



Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
22	ETH Zurich (Цюрих, Швейцарія), березень 2023*	Штани (легінси). Для спорту та фітнесу, для захисту безпеки. Прогнозування рівня виснаження користувача під час фізичних навантажень.	Матеріали: основний – еластичний спортивний трикотаж, вставка – з еластичного провідного каучукового волокна, навколо якого спіраллю обгорнуто пластиковоізолюваний дріт. Колір: чорний. Конструкція: класичний крій, вставка розташована у верхній частині правої ноги від коліна до талії.	Технологія: Helical Auxetic Yarn Capacitive Sensor (HACS) — спірального сенсорна пряжа, де еластичне провідне волокно і пластиковоізолюваний дріт утворюють конденсатор, що змінює свою ємність при розтягненні під час руху. Управління: текстильний датчик надсилає електричні сигнали бездротовим способом на смартфон, за допомогою петлевої антени з провідної пряжі, яка пришита до легінсів.	
23	Federal University of Espirito Santo (Еспіріту- Санту, Бразилія), липень 2023*	Штани. Для охорони здоров'я. Спостереження за рухами, реабілітація, моніторинг активності літніх людей.	Матеріали: прозорі полімерні оптичні волокна діаметром 1 мм, вплетені у текстиль. Колір: чорний. Конструкція: дві оптичні нитки (по 30 сенсорних зон кожна) простягаються по обидвох ногах.	Технологія: полімерні оптичні волокна з інтенсивнісною варіацією — згинання волокна змінює світловий потік, що аналізується для класифікації рухів. Живлення: портативний блок збору даних живить світлодіоди та фотодетектори, з'єднання Bluetooth/IoT для передачі даних у хмару. Управління: машинне навчання обробляє дані в реальному часі і класифікує тип руху.	




Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
24	Not Impossible Labs (США), липень 2023*	Жилет, браслети та пов'язки. Для охорони здоров'я, для розваг. Трансляція музичних інструментів у локальні вібрації..	Матеріали: м'яка, міцна тканина жилета з компактними вібрomodулями, доповнена браслетами на зап'ястях та щиколотках. Колір: чорний та сірий. Конструкція: складається з м'якої нагрудної запряжки, який носять як вузький рюкзачок, та комплекту з двох браслетів і двох наплічників.	Технологія: повноцінна платформа для компонування, перекладу та надсилання аудіо у вигляді вібрацій бездротовим способом. Зони відбромодулів: 24, розташовані на плечах, грудях, спині, зап'ястках і щиколотках. Живлення: автономне – батарея (час роботи - 10 год). Управління: бездротове підключення (Bluetooth/ Wi-Fi/LoRa) до аудіосерверу; можна регулювати інтенсивність вібрацій, що відображаються за допомогою кольорових світлодіодних ламп.	
25	Kurage (Ліон, Франція), серпень 2023*	Жилет, штани, взуття. Для охорони здоров'я. Реабілітація після інсульту, електростимуляція паралізованих м'язів.	Матеріали: штани виготовлені з еластичного текстилю з інтегрованими електродами та провідниками для передачі електричних імпульсів. Колір: чорний. Конструкція: складається з штанів, жилета та взуття; в області стегон, гомілок і тулуба вшиті багатопарові текстильні зони з електродами.	Технологія: система AI для аналізу мозкових імпульсів здорової ноги, що відтворюються на паралізованому боці для корекції ходи. Живлення: основний AI-блок розміщений у жилеті; живиться від вбудованих акумуляторів. Управління: через поясний контролер.	


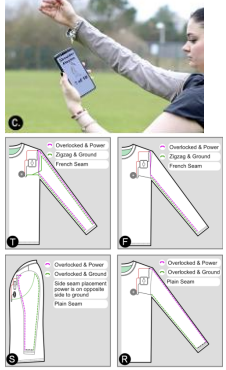
Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
26	AccYouRate (Л'Аквіла, Італія), вересень 2023*	Майка (топ). Для охорони здоров'я. Довготривалий моніторинг електрокардіограми частоти та глибини дихання, температури та положення тіла.	Матеріали: органічна текстильна основа (бавовна) з інтегрованими друкованими або прихованими полімерними електродами. Колір: чорний, червоний. Конструкція: прилеглий силует, майка укорочена, без рукавів.	Технологія: біомедичні сигнали та життєво важливі показники виявляються друкованими та невидимими полімерними датчиками, які вбудовуються в текстиль. Управління: дані обробляються мініатюрним блоком управління, який надсилає дані на двонаправлену платформу. Платформа передає дані користувачеві через смартфон або розумний годинник, а потім на віддалений пристрій.	  
27	Adobe Research у співпраці з дизайнером Christian Cowan (Сан-Франциско, США), жовтень 2023*, лютий 2024	Сукня. Для розваг, у модній індустрії. Зміна малюнка/кольору у реальному часі, реагування на рух/звук.	Матеріали: PDLC «пелюстки» (тип рідкого кристала), пришиті на гнучкий РСВ-шар, прикритий сатином Armani Stretch satin. Колір: первинний сріблясто-білий, що змінює відтінки сірого чи білого. Конструкція: версія 2023 - ручне шиття на 74 дисках 1182 пелюсток, які мають 16 різних розмірів; версія 2024 - верхня частина має 1 264 пелюсток, а нижня - 14 частин блискучих зірок, пришитих до 88 модульних контролерів.	Технологія: використовується світловідбивна технологія та тісно інтегрована із творчим програмним забезпеченням Adobe. Управління: кнопка (з пультом дистанційного керування), датчики руху та звуку (акселерометр, компас, мікрофон).	  


Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
28	Avery Dennison (Ментор, США), січень 2024*	Футболка. Для розваг, для ринного використання. Використання доповненої реальності.	Матеріали: бавовна. Колір: чорний. Конструкція: класичний крій, прямий силует, короткі рукави, вбудована плетена нашивка NFC.	Технологія: працює на основі atma.io підключеного хмарного продукту, який використовує технологію блокчейн для ідентифікації. Управління: користувач сканує QR-код камерою або проводить смартфоном NFC, активуються AR-відео або контактні дані підключаються до atma.io.	
29	Massachusetts Institute of Technology Self-Assembly Laboratory (Кембридж, США), січень 2024*	Сукня. Для повсякденного використання. Зміна форми сукні у відповідь на спеку.	Матеріали: віскоза, поліестер, термоактивна пряжа з нейлону. Колір: білий. Конструкція: 4D-трикотажне плаття в'ягеться у формі базової трубки.	Технологія: під дією тепла нитки скорочуються у певних ділянках, утворюючи складки, защіпи та інші об'ємні елементи без потреби в швах чи зшиванні. Управління: можна змінювати зовнішній вигляд за допомогою роботи, комп'ютеризованого дизайну та в'язання.	
30	Vollebak (Лондон, Велика Британія), березень 2024*	Куртка. Для повсякденного використання. Зміна кольору виробу відповідно до зовнішнього освітлення.	Матеріали: тканини, складається з 3 шарів напівпрозорої поліамідної сітка і 2-х мембран: фосфоресцентної і флуоресцентної Колір: мідно-помаранчевий вдень або в приміщенні, жовто-зелений вночі. Конструкція: герметична з водонепроникними блискавками.	Технологія: комбінування флуоресцентної та фосфоресцентної мембрани створює ефект кольорозміни 24/7 — реагує на сонячне світло, темряву й спрямовані джерела світла; не потребує електроніки чи енергоживлення.	

Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
31	Linköping University and the University of Borås (Лінчепінг, Бурос, Швеція) червень 2024*	Рукав. Для охорони здоров'я. Забезпечення тактильного зворотнього зв'язку.	Матеріали: в'язана текстильна структура з паралельно з'єднаних електроактивних волокон, покритих провідними полімерними матеріалами (PEDOT, polypyrrole). Конструкція: рукав щільно прилягає до тіла.	Технологія: вбудовані датчики відчувають тиск від певного об'єкта чи предмета, ці сигнали передаються на рукав приймача, де текстиль скорочується за рахунок текстильних м'язів, це створює тиск на шкіру, який сприймається як дотик.	
32	Universities of Bath and Bristol (Бат, Брістол, Велика Британія), липень 2024*	Рукав. Для охорони здоров'я. Відстеження рухів — реабілітація, фізіотерапія, точний фітнес, моніторинг техніки виконання вправ.	Матеріали: звичайні тканини без електронних вставок; шви — з провідних ниток, що прокладають низьковольтний струм. Колір: сірий. Конструкція: оверлочні шви в стандартних конструкціях одягу.	Технологія: нешкідливі низькі напруги пропускаються через струмопровідні нитки, які прошиваються в шви одягу для створення електричних ланцюгів. Їх опір змінюється разом з рухом тіла власника. Живлення: шов сполучається із зарядною котушкою, що черпає енергію бездротовим способом від мобільного телефону, поміщеного в кишеню. Управління: додатки для смартфонів зі штучним інтелектом, можуть використовувати дані про рух для зіставлення фізіотерапевтичних вправ.	


Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
33	Hong Kong Polytechnic University (Гонконг, Китай), серпень 2024*	Футболка. Для спорту та фітнесу. Створення дихаючого і сухого мікроклімату шкіри користувача.	Матеріали: «шкіроподібні», анти-теплові тканини з вбудованими провідними шляхами; спеціальні текстильні мембрани Omni-Cool-Dry. Колір: бірюзовий. Конструкція: класичний крій футболки з короткими рукавами та коміром типу поло.	Технологія: штучні «потові залози», що керуються низьковольтною напругою, яка узгоджується з картою поту тіла, можуть активно та програмно транспортувати піт до розсіювача поту та швидко видаляти його у вигляді крапель рідини. Живлення: акумулятор текстильного розсіювача поту працює при напрузі 5-9 В, коли швидкість потовиділення в організмі низька, виріб можна використовувати без акумулятора. Управління: мобільний додаток допомагає персоналізовано керувати потовиділенням.	
34	Hong Kong Polytechnic University (Гонконг, Китай), серпень 2024*	Захисний робочий одяг (куртка або костюм). Для захисту безпеки. Автоматична адаптація до мінливих температур навколишнього середовища.	Матеріали: зовнішній жаростійкий шар + дихаюча мембрана + пористий термолайнер, заповнений нетоксичною, негорючою рідиною з низ. темп. кипіння. Конструкція: багатошаровий текстильний комплекс.	Технологія: термостимульована система перетворює рідину в газ при підвищенні температури навколишнього середовища, викликаючи розширення м'яких приводів і згущення текстильної матриці, тим самим розширюючи проміжок нерухомого повітря і подвоюючи термічний опір.	



Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
35	Cute Circuit (Лондон, Велика Британія), серпень 2024*	Футболка. Для охорони здоров'я, для розваг. Покращення вражень від матчу для вболівальників з вадами слуху.	Матеріали: струмопровідний текстиль і тактильні модулі, які інтегровані в тканину. Колір: чорно-білий. Конструкція: класичний крій футболки з короткими рукавами.	Технологія: шум від мікрофонів, розташованих у всіх чотирьох кутах поля, передавався через спеціальне програмне забезпечення, яке перетворює аналоговий звук натовпу в реальному часі в дані у вигляді цифрового звуку. Управління: дані передаються по бездротовому зв'язку через антену. Потім «електричний мозок» у футболці керує вбудованими модулями, змушуючи двигуни вібрувати в резонансі з оплесками натовпу.	
36	HeiQ та GQ Apparel (Таїланд), серпень 2024*	Штани – джинси. Для повсякденного використання. Забезпечення миттєвого і тривалого відчуття охолодження.	Матеріали: традиційний денім, на який нанесено біо-базований полімер HeiQ Cool у локальних зонах (зазвичай на внутрішній стороні штанин). Колір: синій. Конструкція: класичний крій джинсів.	Технологія: HeiQ Cool – біо- базований термофункціональний полімер, що активується без застосування електроніки або живлення: поглинає і випаровує тепло, створюючи охолоджувальний ефект при контакті з шкірою.	

Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
37	<p>Heidelberg University, Technische Universität München (Німеччина), жовтень 2024*</p>	<p>Шорти.</p> <p>Для охорони здоров'я.</p> <p>Підвищення ефективності ходьби літніх людей і людей з обмеженою рухливістю.</p>	<p>Матеріали: пояс і стегнові ремені мають внутрішній шар із неопрену, який забезпечує високу міцність на розрив, жорсткість та м'який контакт із тілом.</p> <p>Колір: чорний.</p> <p>Конструкція: текстильний інтерфейс складається з регульованого поясного ремня та 2-х стегнових шлейок, що закріплюються за допомогою застібок Велкро для індивідуальної посадки.</p>	<p>Технологія: штучні сухожилля, закріплені на передній частині ніг, активуються двигунами відповідно до фази кроку, що фіксують рух стегон.</p> <p>Живлення: портативного літій-полімерного акумулятора.</p> <p>Управління: мікроконтролер отримує інформацію по Bluetooth Low Energy від датчиків, які транслюють кут згинання стегна кожної ноги.</p>	
38	<p>Cornell University (Ітаці, США), жовтень 2024*</p>	<p>Сорочка.</p> <p>Для охорони здоров'я, для повсякденного використання.</p> <p>Відстеження пози верхньої частини тіла.</p>	<p>Матеріали: основний - традиційний текстильний матеріал, нитки – струмопровідні, ізолюваний посріблений нейлон,</p> <p>Колір: темно-синій.</p> <p>Конструкція: сорочка прямого силуету з довгим рукавом, струмопровідні шви наносяться уздовж ключових швів, таких як плечі та рукави.</p>	<p>Технологія: під час руху користувача, шви розтягуються і зміщуються, викликаючи коливання їх ємності. Ці сигнали вловлюються сенсорною платою та мікроконтролером.</p> <p>Живлення: акумулятор LiPo.</p> <p>Управління: мікроконтролер передає дані бездротовим способом через Bluetooth Low Energy на найближчий комп'ютер для обробки, який через глибоке навчання реконструює 3D-кінематику плечей і рук.</p>	

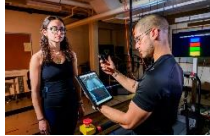

Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
39	Imperial College London (Лондон, Велика Британія), грудень 2024*	Футболка. Для охорони здоров'я. Моніторинг серцевого ритму та ідентифікація спадкових захворювань серця.	Матеріали: традиційний текстиль з дротами всередині для вимірювання електричних сигналів. Колір: чорний. Конструкція: класичний крій футболки з короткими рукавами.	Технологія: тонкі тканинні дроти вимірюють електрограми серцебиття; дані обробляються AI-моделями, натренованими на ЕКГ від понад 1000 пацієнтів для розпізнавання вроджених аритмій. Управління: AI алгоритм виконує класифікацію патернів ЕКГ у реальному часі.	
40	University of Cambridge (Кембридж, Велика Британія), лютий 2025*	Піжама (кофта). Для повсякденного використання, для охорони здоров'я. Моніторинг сну — виявлення апное, хропіння, носового/ротового дихання, скреготу зубів.	Матеріали: еластична текстильна підкладка зі спандексу, шар крохмалю, поперечні електроди та круговий сенсорний шар. Колір: білий. Конструкція: прямий силует, довгий рукав, комір-стійка, у який інтегрований шестиканальний масив датчиків деформації.	Технологія: надчутлива матриця датчиків деформації може збирати ледь помітні вібрації від зовнішніх м'язів гортані, пов'язаних із різними режимами сну, а його багатоканальна конструкція усуває потребу в позиціонуванні завдяки просторовій роздільній здатності. Управління: для збору даних використовується потенціостат і мультиплексор, сигнали з каналу з найсильнішим відгуком надходять бездротовим зв'язком в спеціально розроблену модель глибокого навчання (SleepNet) для розпізнавання умов сну.	

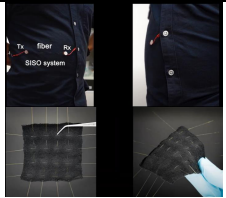
Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
41	American Chemical Society (США), Laboratory for Artificial Intelligence in Design under InnoHK Research Clusters (Гонконг, Китай) лютий 2025*	Куртка. Для повсякденного використання, для охорони здоров'я. Автоматичне регулювання температури, попередження перегріву та температурних травм.	Матеріали: теплогенеруюча пряжа зі срібним покриттям і два типи термохромної пряжі (одна пряжа переходить від фіолетового до рожевого, у темряві полімерна нитка з оптичного волокна, випромінює синє, жовте або червоне світіння. Колір: чорний. Конструкція: прямого силуету з відлітними кокетками, коміром стійкою, вшивним рукавом з манжетою та накладною кишенею, у верхній частині спинки вставка з електронного текстилю.	Технологія: інтелектуальний термохромний електронний текстиль з нагріванням із системою контролю температури на основі штучного інтелекту для оптимізації особистого комфорту та кольірних показників для літніх осіб. Управління: завдяки мікроконтролерам, датчикам навколишнього середовища та з'єднанням Bluetooth, система пропонує комплексні інтелектуальні рішення для підігріву тіла користувача.	  
42	Sapienza University of Rome, LET's Webearable Solutions (Італія), березень 2025*	Футболка. Для охорони здоров'я. Збір життєвоважливих даних про пацієнтів після урологічної операції при онкології.	Матеріали: традиційний текстиль з датчиками. Конструкція: класичний крій футболки з короткими рукавами.	Технологія: дистанційний моніторинг артеріального тиску, частоти пульсу, сатурації та рівень глюкози в крові, що допомагає пацієнтам відновлюватися вдома після роботизованої урологічної хірургії. Управління: дані надсилаються в додаток і веб-програмне забезпечення.	

Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
43	University of Illinois Urbana–Champaign (Шампейн, США), квітень 2025*	Майка. Для охорони здоров'я, для спорту та фітнесу. Відстеження відновлення частоти серцевих скорочень.	Матеріали: традиційний текстиль з датчиками. Колір: чорний. Конструкція: прилеглий силует.	Технологія: датчики електрокардіограми дозволяють збирати детальні дані про роботу серця без використання дорогого медичного обладнання або спеціалізованого персоналу. Управління: дані аналізуються за допомогою машинного навчання та оцінюється ризик на основі отриманих сигналів.	
44	Cornell University (Ітаці, США), квітень 2025*	Футболка. Для спорту та фітнесу, для повсякденного використання. Відстеження постави людини та виконання фізичних вправ.	Матеріали: стандартна бавовняна футболка з гнучкими провідними нитками, вшитими в шви горловини, рукавів і боків. Конструкція: прямий силует, рукав короткий, знімна друкована плата на вирізі горловини	Технологія: при зміні пози власника електроди шва (провідні нитки), деформуються і змінюють свою власну ємність, а зв'язок між тілом власника, великим провідником і шовними електродами змінюється. Знімна друкована плата записує дані про ємність і відправляє їх через Bluetooth на ноутбук. Управління: модель штучного інтелекту аналізує сигнал, щоб розпізнати вправи та підрахувати кількість повторень.	

Продовження таблиці Е.3

1	2	3	4	5	6
45	ETH Zurich (Цюріх, Швейцарія), травень 2025*	Футболка. Для охорони здоров'я, для спорту та фітнесу, для повсякденного використання. Вимірювання дотику, тиску та руху користувача.	Матеріали: SonoTextiles зі скляними мікрОВОлокнами, які проводять звукові хвилі. Колір: темно-синій. Конструкція: класичний крій.	Технологія: на одному кінці кожного скляного волокна знаходиться невеликий передавач, який випромінює звукові хвилі, інший кінець підключений до приймача, який вимірює, чи змінилися хвилі. При русі скляного волокна довжина акустичних хвиль, що проходять через нього, змінюється, так як вони втрачають енергію - це може бути викликано рухами тіла або навіть диханням. Управління: дані можуть передаватися в реальному часі на смартфон або комп'ютер для аналізу.	

* дата вказана за часом публікації новини у виданні *Textile Media Services*

** дата вказана за часом публікації новини у виданні *IEEE Spectrum*

Життєвий цикл смартодягу, вплив на навколишнє середовище та сучасні рішення до сталого розвитку

Етап життєвого циклу смартодягу	Вплив на навколишнє середовище	Сучасні рішення до сталого розвитку
1	2	3
Сировина	<ul style="list-style-type: none"> Високе енергоспоживання при виробництві електронних компонентів і текстилю. Використання токсичних та рідкісних ресурсів: чорних і кольорових металів, кераміки, полімерів, друкованих плат та понад 1000 інших. Забруднення повітря, води та ґрунту через процеси обробки (лазерне різання, електрозварювання, гальванізація). 	<p>Використання екологічно безпечних текстильних матеріалів:</p> <ul style="list-style-type: none"> самовідновлювальний текстиль, здатний відновлювати свою структуру або функціональність після механічного пошкодження; самовідновлювальний текстиль з інтеграцією живих біологічних компонентів у текстильні структури; біосумісний та біорозкладний текстиль на основі біополімерів; розумний, носимий та екологічно чистий електронний текстиль (SWEET); мікроінкапсульований смарттекстиль. <p>Використання електронних компонентів на основі таких рішень:</p> <ul style="list-style-type: none"> гнучкі технології, які забезпечують електронним компонентам здатність до деформації, складання та розширення; біорозкладні електронні компоненти; переробка матеріалів та модернізація компонентів зі старих продуктів.
Дизайн	<ul style="list-style-type: none"> Підвищене енергоспоживання та утворення токсичних відходів через неправильний вибір матеріалів і технологій. Збільшення обсягу текстильних і електронних відходів через ігнорування параметрів придатності (довговічність, прання, обслуговування, оновлення). 	<p>Застосування таких дизайнерських підходів:</p> <ul style="list-style-type: none"> модульна конструкція забезпечує тривалий життєвий цикл виробу завдяки розділенню його на незалежні частини; сумісність і оновлюваність компонентів, дозволяють замінювати або модернізувати окремі елементи без порушення цілісності системи; кастомізація, що передбачає можливість адаптації виробу під конкретні потреби користувача.

Продовження таблиці Е.4

1	2	3
Виробництво	<ul style="list-style-type: none"> • Високе енергоспоживання та викиди CO₂ під час прядіння, фарбування, кросення, пошиття та оздоблення. • Інтенсивне водоспоживання і забруднення води токсичними хімікатами при обробці текстилю. • Використання небезпечних матеріалів: напівпровідники, друковані плати, дорогоцінні та важкі метали (золото, срібло, свинець, ртуть, миш'як, хром). • Утворення волокнистого пилу, металобрухту та залишків тканин при інтеграції електроніки з текстилем. <p>Забруднення повітря, води та ґрунту при добуванні та обробці матеріалів.</p>	<p>Виготовлення за допомогою таких методів:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3D-модельовання та віртуальне прототипування, завдяки яким багато ітерацій дизайну можна провести без виготовлення фізичних зразків, що значно скорочує споживання матеріалів і зменшує відходи; • використання штучного інтелекту, що забезпечує адаптивне модельовання, аналіз конструкцій і рекомендації щодо матеріалів із найменшим екологічним впливом; • створення лекал за допомогою методів безвідходного або мінімального утворення відходів.
Дистрибуція	<ul style="list-style-type: none"> • Викиди CO₂ та забруднення повітря через використання транспорту на викопному паливі (вантажівки, літаки). • Збільшене енергоспоживання та викиди парникових газів через глобалізовані ланцюги постачання текстилю та електроніки. 	<p>Застосування таких рішень, як:</p> <ul style="list-style-type: none"> • регіоналізація дистрибуції та оптимізація транспортних маршрутів; • екологічна упаковка та зелена логістика; • екологічне маркування та стандарти сталості.
Експлуатація	<ul style="list-style-type: none"> • Зростання енергоспоживання через роботу електронних компонентів смартодягу, навіть у режимі очікування. • Викиди парникових газів через підвищене навантаження на енергомережу. • Передчасне виведення з експлуатації через складність використання та недостатній досвід користувачів. • Додаткові енергетичні та матеріальні витрати на догляд: заряджання, обробка даних, спеціальні умови прання та обслуговування. 	<p>До ефективних підходів належать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • визначення терміну служби виробу та контроль компонентів; • інноваційні бізнес-моделі: оренда, ремонт та програми повернення; • освіта користувачів щодо догляду за смартодягом.

Продовження таблиці Е.4

1	2	3
Утилізація	<ul style="list-style-type: none"> • Основні компоненти смартодягу містять потенційно токсичні та рідкісні матеріали (свинець, ртуть, кадмій, хром, антипірени, поліхлоровані біфеніли, ПАРГ, холодоагенти), неправильне утилізування яких шкодить довкіллю та здоров'ю людини. • Переробка e-waste може спричиняти викиди токсичних залишків (Hg, Pb, Cd, PCBs, ПАРГ, діоксини, фурани), забруднювати ґрунт і воду, викликати вилуговування та біоаккумуляцію. 	<p>Впровадження таких рішень, як:</p> <ul style="list-style-type: none"> • збір та сортування використаного смартодягу; • механічна переробка текстилю, що включає подрібнення, розволокнення та очищення текстильних матеріалів; • хімічна переробка матеріалів, яка передбачає розкладання текстильних полімерів на первинні компоненти; • повторне використання електронних компонентів; • інформаційна підтримка та автоматизація переробки.

Провідні компанії у сфері смарттехнологій у дизайні одягу за регіонами

Регіон	Компанія	Штаб-квартира	Основна діяльність
1	2	3	4
Америка	Sensoria Inc.	Редмонд, Вашингтон, США	Розробка смартодягу та взуття з вбудованими сенсорами для моніторингу руху, біометричних показників і спортивної активності.
	Under Armour	Балтімор, Меріленд, США	Створення продуктивного спортивного одягу, взуття та аксесуарів, а також цифрових рішень через платформу Connected Fitness.
	Wearable X	Бастроп, Техас, США	Розробка інтерактивного одягу з вбудованими тактильними сенсорами, який відстежує рухи користувача та надає зворотний зв'язок для покращення пози та техніки, зокрема у заняттях йогою та спорті.
	Tommy Hilfiger	Нью-Йорк, США; Амстердам, Нідерланди	Інтеграція технологій, зокрема Bluetooth-чипи для відстеження використання одягу через мобільні додатки та заохочення користувачів за активність.
	Ralph Lauren	Нью-Йорк, США	Розробка біометричного одягу, інтеграція теплопровідних чорнил в куртках та цифровий одяг для віртуальних аватарів у метавсесвіті.
	Google	Маунтін-В'ю, Каліфорнія, США	Виробництво інтерактивного одягу і текстильні рішення, інтегруючи сенсори та електроніку в тканини для керування гаджетами, відстеження активності та створення взаємодії з цифровими сервісами.
	DuPont de Nemours Inc.	Вілмінгтон, Делавар, США	Розробка та виробництво інноваційних матеріалів і високотехнологічних волокон, включно з провідними, функціональними та захисними тканинами.
	Hexoskin	Монреале, Канада	Створення смартодягу із вбудованими біосенсорами для моніторингу фізіологічних показників користувача з передачею даних на мобільні додатки для аналітики та здоров'я.
	Myant	Торонто, Канада	Розробка біосенсорного трикотажу і смартодягу із вбудованими сенсорами для моніторингу здоров'я та фітнесу

Продовження таблиці Е.5

1	2	3	4
Європа	Adidas AG	Герцогенаурах, Німеччина	Впровадження інновацій у спортивному одязі та взутті через використання високотехнологічних матеріалів, цифрових сенсорних рішень і роботизованих виробничих систем
	CuteCircuit	Лондон, Великобританія	Створення інтерактивного одягу з інтегрованою електронікою та світлодіодними технологіями, поєднуючи моду з цифровими інноваціями
	Interactive Wear AG	Штарнберг, Німеччина	Розробка та інтеграція електронних компонентів й систем в текстильні вироби, пропонуючи рішення для сенсорики, підігріву, освітлення та аналізу даних через Edge-AI.
	SmartX Project	європейська ініціатива	Розвиток смарттекстилю шляхом фінансування, навчання та коучингу, створення відкритої платформи співпраці та формування нової промислової ланки для інтеграції текстилю, електроніки та IoT
	Pauline van Dongen B.V.	Арнем, Нідерланди	Дослідження смарттекстилю, створення інтерактивної тканин: наприклад, сонячні тканини, тканини з гаптичним зворотним зв'язком.
	Sensing Tech, S.L.	Барселона, Іспанія	Розробка гнучкої електроніки й сенсорних текстильних рішень для застосувань у охороні здоров'я та спорті.
Азіатсько-Тихо-океанський регіон	Toray Industries	Токіо, Японія	Виробництво високотехнологічних волокон, текстильних матеріалів—включно із функціональними тканинами для спорту і промисловості, а також провідними синтетичними волокнами (нейлон, поліестер, акрил) і композитними матеріалами.
	AiQ Smart Clothing Inc.	Тайбей, Тайвань	Розробка інтегрованих текстильних рішень з вбудованими сенсорами та провідними нитками для моніторингу фізіологічних показників, руху та активності користувача, а також для застосувань у медицині та спорті.
	Asiatic Fiber Corporation	Тайбей, Тайвань	Створення функціональних та смартволокон й тканин із провідними і антистатичними властивостями, призначені для застосувань у промислових, медичних, clean-room середовищах і в носимих технологія.
	Samsung	Сувон, Південна Корея	Розробка смартодягу, смартаксесуарів і електроніки, включно з сенсорними тканинами та носимими пристроями для моніторингу здоров'я, фітнесу та інтеграції з цифровими сервісами.

Продовження таблиці Е.5

1	2	3	4
Близький Схід та Африка	Alyaf Industrial Co. Ltd.	Саудівська Аравія	Виробництво високотехнологічних нетканих та функціональних матеріалів, включно з геосинтетичними і спеціалізованими тканинами, які можуть застосовуватися у смартодязі, захисному одязі та технічних текстильних рішеннях.
	Aksa Akrilik Kimya Sanayii A.Ş.	Стамбул, Туреччина	Виготовлення високотехнологічних акрилових волокон, зокрема технічних і модакрилових, а також інноваційних UHMWPE-волокон для оборонних застосувань.