

М. Л. РЯБЧИКОВ

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри технологій легкої промисловості
Луцький національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-9382-7562

В. В. МИЦА

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри технологій і конструювання швейних виробів
Хмельницький національний університет
ORCID: 0000-0002-5453-9787

МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЇ ЦИФРОВІЗАЦІЇ В ІНДУСТРІЇ МОДИ

У статті розглянуто теоретичні та практичні аспекти цифровізації індустрії моди, а також представлено комплексну модель цифровізації процесів створення, виробництва та реалізації одягу. Проведений аналіз останніх досліджень демонструє активний розвиток цифрових технологій у модній індустрії, включаючи використання автоматизованих систем проектування, 3D-сканування, кастомізації та штучного інтелекту. Підкреслена актуальність інтеграції цифрових інструментів для створення замкнених алгоритмів зі зворотними зв'язками, які дозволяють оптимізувати усі етапи життєвого циклу продукту – від проектування до реалізації.

Модель, представлена в статті, охоплює ключові аспекти цифровізації: цифровий дизайн одягу, конструювання, виробничі процеси, контроль якості, логістику та методи реалізації продукції. Особлива увага приділяється впровадженню штучного інтелекту, що дозволяє аналізувати антропометричні дані, автоматизувати побудову конструкцій, враховувати індивідуальні потреби споживачів та створювати високоякісні кастомізовані вироби. Використання тривимірного сканування та технологій доповненої реальності сприяє вдосконаленню процесів візуалізації й проектування, що значно скорочує час і витрати на розробку продукції.

Запропонована модель враховує етапи від збору первинних даних до реалізації одягу на ринку. Наукова новизна роботи полягає у розробці інтегрованої цифрової платформи, яка враховує специфіку сучасних вимог до функціональності, екологічності та персоналізації модної продукції. Такий підхід дозволяє не лише підвищити ефективність виробничих процесів, але й стимулює розвиток інновацій у сфері моди.

Практичне значення дослідження полягає у можливості впровадження запропонованої моделі на підприємствах модної індустрії для оптимізації процесів управління та виробництва. Це дозволить мінімізувати виробничі витрати, скоротити час розробки нових моделей, підвищити якість продукції та забезпечити персоналізацію відповідно до запитів споживачів. Крім того, така модель сприятиме гнучкому реагуванню на змінні тенденції ринку і впровадженню інновацій, зокрема в напрямках сталого розвитку та замкнених циклів виробництва.

Ключові слова: цифрові технології, кастомізація одягу, візуалізація, прототипування, штучний інтелект.

M. L. RIABCHUKOV

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Consumer Industry Technology
Lutsk National Technical University
ORCID: 0000-0002-9382-7562

V. V. MYTSA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Garment Technology and Design
Khmelnitskyi National University
ORCID: 0000-0002-5453-9787

A MODEL OF COMPREHENSIVE DIGITALISATION IN THE FASHION INDUSTRY

The article examines the theoretical and practical aspects of digitalization of the fashion industry, and also presents a comprehensive model of digitalization of the processes of creation, production and sale of clothing. The analysis of recent research demonstrates the active development of digital technologies in the fashion industry, including the use of automated design systems, 3D scanning, customization and artificial intelligence. The relevance of integrating digital tools for creating closed-loop algorithms with feedback loops that allow optimizing all stages of the product life cycle – from design to implementation is emphasized. The model presented in the article covers key aspects of digitalization: digital clothing design, construction, production processes, quality control, logistics and product sales methods. Special

attention is paid to the implementation of artificial intelligence, which allows analyzing anthropometric data, automating the construction of structures, taking into account individual consumer needs and creating high-quality customized products. The use of three-dimensional scanning and augmented reality technologies contributes to the improvement of visualization and design processes, which significantly reduces the time and costs of product development.

The proposed model takes into account the stages from the collection of primary data to the sale of clothing on the market. The scientific novelty of the work lies in the development of an integrated digital platform that takes into account the specifics of modern requirements for functionality, environmental friendliness and personalization of fashion products. This approach allows not only to increase the efficiency of production processes, but also stimulates the development of innovations in the field of fashion.

The practical significance of the study lies in the possibility of implementing the proposed model at enterprises of the fashion industry to optimize management and production processes. This will minimize production costs, reduce the time for developing new models, improve product quality and ensure personalization in accordance with consumer requests. In addition, such a model will contribute to a flexible response to changing market trends and the introduction of innovations, in particular in the areas of sustainable development and closed production cycles.

Key words: digital technologies, clothing customization, visualization, prototyping, artificial intelligence.

Постановка проблеми

Цифровізація та комп'ютеризація охоплюють усі сфери людської діяльності, активно змінюючи їхній формат та ефективність. Індустрія моди не є винятком: процеси проектування та виробництва одягу значною мірою вже зазнали впливу цифрових технологій. Зокрема, на етапі конструювання широко використовуються системи автоматизованого проектування (САПР), які дозволяють суттєво скоротити час розробки та знизити ймовірність помилок. Цифрові інструменти також успішно застосовуються у підготовці виробництва, контролі технологічних процесів і оптимізації ресурсів.

Сучасні системи тривимірного проектування та візуалізації одягу відкривають нові можливості для створення дизайн-проектів колекцій із високим рівнем деталізації. Напрацювання у сфері кастомізації демонструють потенціал використання цифрових технологій для задоволення індивідуальних потреб споживачів. Формування бази антропометричних даних за допомогою 3D-сканування забезпечує точність конструкції виробів, а 3D-візуалізація дозволяє клієнтам отримати уявлення про кінцевий вигляд продукту ще до його виготовлення.

Однак цифровізація в індустрії моди часто здійснюється фрагментарно: окремі етапи проектування, виробництва та реалізації розвиваються без інтеграції в єдиний комплекс. Це призводить до втрати потенційної ефективності, обмежує можливості адаптації до сучасних ринкових вимог і сповільнює впровадження інновацій.

Розробка комплексної моделі цифровізації, яка охоплює всі етапи життєвого циклу виробу – від проектування та виробництва до реалізації і зворотного зв'язку з кінцевим споживачем – є актуальним і перспективним завданням. Така модель дозволить інтегрувати сучасні технології, оптимізувати процеси, забезпечити кастомізацію продукції, підвищити конкурентоспроможність і стійкість індустрії моди в умовах динамічних змін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Значна кількість сучасних досліджень присвячена цифровізації модної індустрії, що охоплює різні аспекти проектування, виробництва, реалізації та споживання одягу. Зокрема, у роботі [1] розглядаються проблеми визначення точних антропометричних параметрів за допомогою технологій 3D-сканування, що є важливим для персоналізації одягу та підвищення його ергономічності. Дослідження [2] присвячене розробці підходів до створення модного образу за допомогою цифрових тривимірних технологій, які дозволяють широко застосовувати цифровий одяг при онлайн-комунікації. У процесі проектування одягу необхідно враховувати досягнення у сфері смарт-технологій, які інтегрують у вироби елементи електроніки, функціональні тканини або інтелектуальні системи моніторингу [3]. Стаття [4] аналізує сучасні методи створення конструкцій одягу за допомогою сучасних САПР та визначає їхню ефективність у прискоренні проектних процесів і зниженні витрат.

Окремі дослідження присвячені використанню цифрових технологій у технологічних процесах виготовлення одягу, що включають автоматизацію виробничих операцій [5] і контроль якості готової продукції [6]. Робота [7] розглядає логістичні підходи до управління ланцюгами постачання одягу, зокрема цифрові методи планування і доставки. Останнім часом зростає інтерес до цифрових методів у сфері постачання та реалізації продукції модної індустрії. Дослідження [8] аналізує особливості інтернет-торгівлі, тоді як у роботі [9] акцентується увага на процесах кастомізації одягу за участі споживачів, що забезпечує персоналізацію виробів відповідно до їхніх потреб і вподобань.

Окрім того, активно досліджуються можливості впровадження систем штучного інтелекту (ШІ) в модну індустрію. У ряді наукових досліджень розглядаються методи використання ШІ для створення сучасних колекцій одягу [10], аналізу трендів [11], прогнозування споживчого попиту [12] та оптимізації виробничих процесів [13].

Варто зазначити, що попри значний прогрес у цифровізації окремих аспектів модної індустрії, існує потреба в інтегрованих підходах, які забезпечать комплексну цифровізацію всіх етапів життєвого циклу модного продукту.

Формулювання мети статті

Метою даної статті є розробка комплексної моделі цифровізації процесів створення та реалізації модного продукту на основі аналізу ключових напрямів цифровізації, їх структури та взаємодії з урахуванням сучасних тенденцій в галузі конструювання, проектування, технології виробництва, логістики та реалізації.

Виклад основного матеріалу дослідження

З кожним роком дослідження в галузі цифрової моди набувають все більшої популярності, що свідчить про актуальність цієї тематики у глобальному науковому просторі. Це обумовлено стрімким розвитком цифрових технологій, які трансформують процеси створення, виробництва та реалізації модного продукту, а також появою нових концепцій, таких як віртуальна мода, цифрові колекції та кастомізовані рішення для споживачів. Графік, представлений на рис. 1 ілюструє динаміку зростання кількості закордонних наукових публікацій за ключовим запитом «Digital fashion design» у базах даних наукових статей за останніх десять років. З урахуванням поточних тенденцій, очікується подальше збільшення публікацій у 2024 році. Такий тренд вказує на те, що цифрова мода стає важливим напрямом досліджень, як у контексті теоретичних розробок, так і практичного впровадження в індустрію моди.

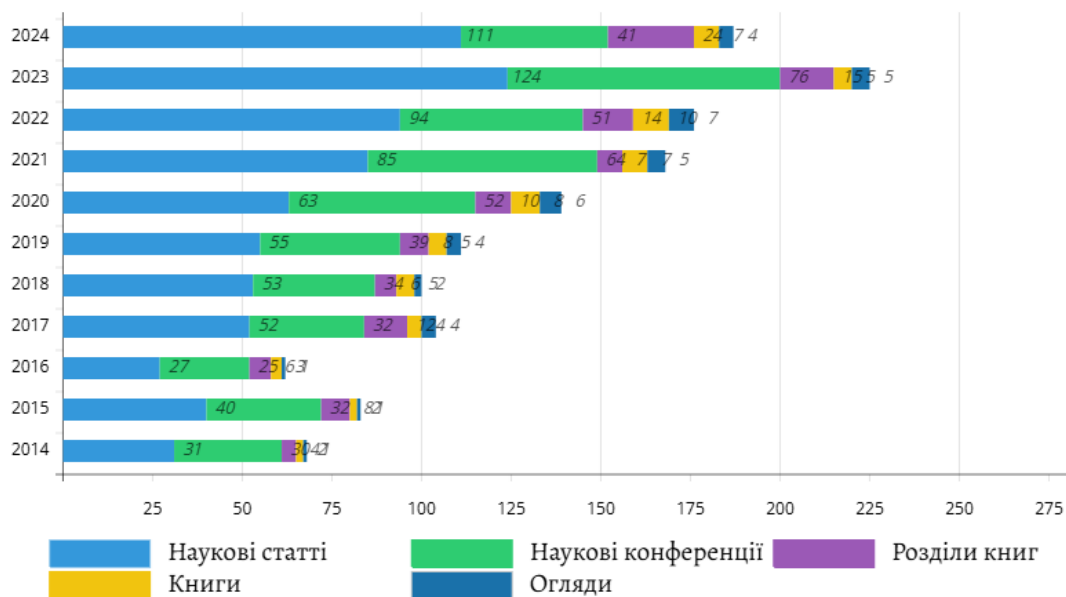


Рис. 1. Динаміка зростання наукових публікацій за ключовим запитом «Digital fashion design»

Сучасна модна індустрія зазнає значних змін завдяки цифровізації та впровадженню штучного інтелекту. Ці технології відкривають нові можливості для дизайнерів, виробників і споживачів, змінюючи традиційні бізнес-моделі та покращуючи ефективність усіх етапів виробництва [14].

На поточному етапі розвитку індустрії моди науковці виділяють кілька основних тенденцій, що визначають інноваційні підходи до створення модного продукту. Ці тенденції формують базу для побудови моделі комплексної цифровізації індустрії моди (рис. 2).

При сучасному наскрізному цифровому процесі виготовлення одягу від концепції до створення готового продукту доцільно виділити ряд етапів.

- Створення 2D-легал з можливістю імпортування та конвертації. Цифрові платформи дозволяють легко імпортувати та конвертувати наявні 2D-лекала з різних форматів, що спрощує інтеграцію існуючих дизайнів у нові колекції;
- Створення 3D-прототипів, що дозволяє візуалізувати зовнішній вигляд, членування, посадку виробу на фігурі, масштабувати його, а також створювати текстури матеріалів;
- Відтворення (рендеринг). Використання потужних інструментів рендерингу, таких як Marvelous Designer або Blender, дозволяє створювати фотореалістичні зображення виробів;
- Вибір PLM-рішення (Product Lifecycle Management), яке дозволяє бізнесу підвищити свою стратегічну та операційну ефективність. Сучасні PLM-системи забезпечують повне управління життєвим циклом продукту, від початкового задуму до випуску на ринок;

ТЕНДЕНЦІЇ	Впровадження 3D-технологій	Використання 3D-сканування для визначення антропометричних параметрів Розробка віртуальних прототипів одягу Створення 3D-візуалізацій для презентації колекцій
	Розвиток доповненої (AR) і віртуальної реальності (VR)	Впровадження технологій AR/VR для віртуальної примірки Організація цифрових показів мод у віртуальних просторах Інтерактивна взаємодія з споживачами
	Інтеграція штучного інтелекту	Застосування алгоритмів ШІ для прогнозування трендів та аналізу ринку Використання ШІ для автоматизації процесів дизайну Оптимізація керування ланцюгами постачання
	Масова персоналізація	Використання кастомізаційних платформ Інтеграція цифрових технологій для автоматизованого внесення змін у модель Впровадження «розумного» текстилю з персоналізованими функціями
	Розвиток цифрових платформ для продажів і маркетингу	Використання онкольних стратегій Інтерактивна реклама й просування товарів через метавесвіти
	Метавесвіт і цифровий одяг	Розробка цифрового одягу для використання у віртуальних просторах Монетизація цифрових товарів через NFT-платформи Взаємодія брендів з клієнтами через створення інтерактивних цифрових гардеробів
	Розвиток інноваційної екосистеми	Колаборація з технологічними компаніями для розробки нових цифрових інструментів Інвестиції у стартапи, що спеціалізуються на цифрових рішеннях для моди Залучення наукових інститутів для розробки алгоритмів і нових технологій

Рис. 2. Тенденції, що стимулюють розвиток цифровізації в індустрії моди

- Керування цифровими активами (Digital Asset Management) надає можливість узгоджувати та затверджувати колекцію на рівні цифрового формату. Цифрові активи, такі як 3D-моделі, текстури та технічні специфікації, зберігаються в централізованих системах управління цифровими активами (DAM). Це дозволяє командам швидко узгоджувати і затверджувати колекції, зменшуючи час на розробку та випуск нових продуктів;
- Демонстрація на основі каталогу цифрової продукції. Наявність віртуальних шоурумів та каталогів. Сучасні інструменти на основі ШІ дозволяють створювати інтерактивні каталоги та віртуальні шоуруми;
- Розширений досвід здійснення покупок. Онлайн-покупки та інтерактивні примірочні. На даному етапі технології доповненої реальності (AR) дозволяють покупцям приміряти одяг у віртуальних примірочних, підвищуючи рівень задоволеності та зменшуючи кількість повернень;
- Виробництво, яке передбачає створення фізичних виробів з 3D-файлів. Після затвердження віртуальних прототипів вони конвертуються у технічні файли для виготовлення фізичних зразків. Це знижує потребу у створенні проміжних фізичних зразків, економлячи час та ресурси;
- Логістика та доставка. Використання ШІ забезпечує аналіз даних попиту, запас та місце розташування клієнтів, що дозволяє оптимізувати логістику та зменшити час доставки. Це забезпечує кращий користувацький досвід і сприяє зниженню витрат на зберігання продукції.

Таким чином, цифровізація процесу виготовлення одягу створює можливості для безперервного обміну даними та переміщення цифрових активів між різними етапами виробничого циклу. Цифрові активи, такі як 2D-лекала, 3D-моделі, текстури, а також технічні специфікації, можуть бути ефективно використані на кожному етапі від розробки концепції до доставки готового продукту. Це дозволяє забезпечити узгодженість та високу якість виробу, а також скоротити час на розробку нових колекцій.

Однією з ключових переваг наскрізної цифрової системи є можливість взаємодії з потенційними споживачами вже на ранніх етапах розробки продукту. Завдяки використанню 3D-моделювання, віртуальних примірочних та інтерактивних онлайн-інструментів, бренди можуть залучати споживачів до процесу створення колекцій, отримуючи цінні відгуки щодо дизайну, кольору та посадки виробу ще до початку його фізичного виготовлення. Такий підхід дозволяє підвищити задоволеність клієнтів та зменшити ризик повернень товару.

Використання штучного інтелекту та машинного навчання є ключовим фактором, що сприяє автоматизації та оптимізації на кожному етапі наскрізної технологічної екосистеми виготовлення одягу.

З урахуванням цифрового розвитку та особливостей кожного етапу процесу виготовлення одягу, структура наскрізної технологічної екосистеми представлена на рис. 3.

ТВОРИТИ		РОЗРОБЛЯТИ		ПРОДАВАТИ	
Цифрова побудова	Цифровий матеріал	Цифрові активи	Цифрова продукція	Цифровий маркетинг	Цифрові продажі
2D-3D проектування	3D матеріали, оздоблення	3D розробка, підгонка, прототипування	3D автоматизація виробництва	3D маркетинг, споживчий досвід	3D візуальний мерчандайзинг, в магазині
Швидка ітерація, сумісна творчість, висока якість, швидкість		Висока якість, швидкість, стійкість, оптимізація ланцюга постачання		Забезпечення потрібного продукту у потрібний час і у потрібне місце	

Рис. 3. Цифровізація етапів виготовлення одягу

Як видно з рисунка, сучасні автоматизовані засоби дозволяють швидко переходити від 2D-проектуювання до 3D-моделювання, що значно спрощує процес розробки одягу. Завдяки такому програмному забезпеченню, як Clo3D, Browzwear, Optitex, дизайнери мають можливість миттєво візуалізувати свої ідеї у тривимірному форматі, оцінюючи посадку виробу на фігурі та коригуючи його ще на етапі концептуального проектування. Цей підхід забезпечує більш швидку ітерацію розробки, дозволяючи дизайнерам оперативного отримувати задовільний результат свого творчого задуму.

Крім того, доступні бібліотеки фактури матеріалів та оздоблення дозволяють багаторазово використовувати текстури, кольори та елементи декору. Це не лише економить час, але й забезпечує узгодженість стилю колекції, сприяючи сумісній творчості між дизайнерами та підвищуючи якість кінцевого зображення. Такі цифрові бібліотеки можуть бути спільним середовищем для обміну ресурсами між різними командами, що сприяє стандартизації та спрощує процес створення нових моделей.

На етапі розробки використання штучного інтелекту для аналізу попиту дозволяє підвищити ефективність виробничого процесу. Завдяки алгоритмам машинного навчання можна аналізувати великі обсяги даних про поведінку споживачів, тренди та уподобання. Це дає змогу брендам створювати точні прогнози щодо розмірного ряду та асортименту продукції, зменшуючи потребу у фізичному виготовленні проміжних розмірів. Таким чином, виробники можуть зосередитись на найбільш популярних позиціях, знижуючи ризик перевиробництва та витрат на виготовлення невикористаних зразків.

Використання ШІ також дозволяє автоматизувати розробку кастомізованих виробів, орієнтованих на індивідуальні потреби клієнтів, завдяки аналізу їхніх анатомічних параметрів. Це сприяє створенню персоналізованої продукції, яка максимально відповідає очікуванням споживачів.

На етапі продажу використання цифрових технологій дозволяє брендам швидко адаптувати асортимент до поточних запитів споживачів. Завдяки цифровим інструментам, як 3D-конфігуратори одягу та віртуальні шоу-руми, компанії можуть оперативного створювати високоякісні моделі, що відповідають конкретним вимогам клієнтів. Цифрові компоненти забезпечують гнучкість виробництва, зменшують витрати на фізичні зразки та скорочують час від розробки до випуску на ринок.

Завдяки технологіям доповненої реальності (AR), споживачі можуть віртуально приміряти одяг, використовуючи смартфони або інтерактивні дзеркала в магазинах. Це не лише підвищує рівень взаємодії з брендом, але й сприяє прийняттю рішення про покупку. Віртуальні примірочні надають можливість клієнтам оцінити посадку та вигляд виробу на їхній фігурі ще до здійснення покупки, що також підвищує задоволеність клієнтів.

Для реалізації алгоритмізації процесів цифровізації в індустрії моди необхідно розробити відповідне математичне забезпечення, що дозволить ефективно обробляти дані на різних етапах проектування та виробництва одягу. Одним із ключових етапів є визначення індивідуальних антропометричних параметрів, які отримують за допомогою цифрових засобів 3D-сканування. В результаті процесу сканування формується масив даних, який складається з набору точок, кожна з яких характеризується тривимірними координатами і кольором (C). Для виділення конкретних розмірних характеристик, таких як обхвати чи висоти, необхідно сегментувати масив, виділяючи підмножину точок, що відповідає певним критеріям (наприклад, належність до заданих координатних областей).

Для спрощення обчислень декартова система координат перетворюється в полярну. Це дозволяє отримати аналітичні вирази для обхватних характеристик у вигляді простих залежностей та автоматично формувати параметризовані конструкції, що враховують індивідуальні особливості споживача:

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & C_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & C_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_i & y_i & z_i & C_i \\ x_n & y_n & z_n & C_n \end{pmatrix} \rightarrow z_j \begin{pmatrix} x_{1j} & y_{1j} \\ x_{2j} & y_{2j} \\ \dots & \dots \\ x_{ij} & y_{ij} \\ x_{nj} & y_{nj} \end{pmatrix} \rightarrow \rho = f(\phi) \rightarrow L = \int_{-\pi}^{\pi} \rho(\phi) d\phi. \tag{1}$$

Цифровізація процесів створення дизайну одягу, зокрема із використанням штучного інтелекту, вимагає застосування математичних концепцій, таких як теорія множин і предикатів. При цьому таксономічні предикати можуть використовуватися для класифікації елементів одягу (комір, рукав, лацкан тощо), які можна позначати як T_1, T_2, T_3, \dots . Реляційні предикати можуть описувати відношення між елементами одягу (рукав обов'язково з'єднується з пройомом, $T_1 \vee T_j$, кишеня може бути розташована на пілочки $T_k \wedge T_m$, пояс не з'єднується з коміром $T_n - T_p$). Характеризуючі предикати можуть визначати ознаки елементів одягу (колір, форма, матеріал. C_1, C_2, C_3, \dots).

Квантор загальності \forall визначає спільні характеристики всіх елементів одягу. Екзистенційний квантор \exists визначає окремі ознаки елементів одягу. Приклад запису конструкції одягу для використання в системах штучного інтелекту може мати вигляд:

$$\forall T \rightarrow C_1 \exists T \rightarrow C_2 \{ (T_1 \wedge T_2) \vee (T_3 \vee T_4) \vee (T_5 \vee -T_6) \}. \tag{2}$$

Цей формальний підхід дозволяє алгоритмізувати процеси проектування, забезпечуючи точне визначення взаємозв'язків та характеристик елементів одягу в цифрових системах.

На етапі побудови конструкції одним із ключових обмежень цифровізації є застосування стандартних методик конструювання, які не враховують індивідуальних особливостей споживача. Побудова розгортки на основі перетворення координат при 3D-скануванні дозволяє розв'язати цю проблему цифровими засобами. Триангуляційні алгоритми (рис. 4) передбачають перетворення просторових координат в двовимірні для подальшої побудови індивідуальної конструкції.

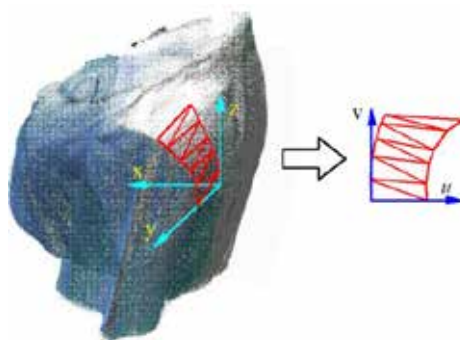


Рис. 4. Побудова розгортки на основі 3D-сканування

Етап виробництва одягу у процесі цифровізації може бути описаний через побудову системи графів, які забезпечують структурування виробничих процесів та інтеграцію механізмів безпосереднього контролю якості. Застосування графів у моделюванні дозволяє відображати взаємозв'язки між операціями, ресурсами та контрольними точками, що критично важливо для оптимізації виробничого циклу.

Контроль процесу виробництва одягу є одним із ключових етапів комплексної цифровізації індустрії моди. Використання цифрових засобів, зокрема електронних NFC-міток дозволяє забезпечити простежуваність і відповідність кожного етапу виробничого процесу заданим параметрам. NFC-мітки функціонують як інтегровані маркери, що фіксують і передають дані про технологічний стан продукції на кожному етапі виробництва, забезпечуючи точну відповідність реальних операцій цифровим матрицям виробничого процесу.

Процеси реалізації одягу у цифровій сфері безпосередньо пов'язані з оптимізацією логістичних ланцюгів. Цифровізація логістики базується на використанні методів лінійного і динамічного програмування для управління ресурсами, транспортними потоками і складуванням. Такі підходи дозволяють мінімізувати витрати та час доставки, одночасно забезпечуючи високу гнучкість і адаптивність системи до змін попиту.

Одним з перспективних напрямів цифровізації у сфері реалізації одягу є цифрова кастомізація. Ця технологія забезпечує персоналізацію продукту відповідно до потреб споживача та сприяє формуванню моделі замкненого циклу виробництва. Процес цифрової кастомізації включає кілька послідовних етапів: фотограмметрія існуючого одягу; налаштування базової геометрії і топології; визначення параметрів кастомізації. Технічна реалізація кастомізації базується на створенні 3D-моделей, які відображають індивідуальні побажання клієнта; встановленні обмежень і залежностей між параметрами для забезпечення функціональності та естетичності виробу; перевірці точності параметрів за допомогою цифрових інструментів валідації.

Після створення кастомізованого продукту інтеграція та впровадження таких моделей у виробничі процеси передбачає перевірку відповідності розмірів, збір відгуків користувачів, аналіз популярності заданих комбінацій і подальшу адаптацію алгоритмів під індивідуальні потреби.

У таких умовах загальна модель цифровізації одягу може бути представлена як замкнений алгоритм зі зворотними зв'язками. Така модель інтегрує всі основні етапи життєвого циклу одягу: дизайн, конструювання, виробництво, контроль, реалізацію та зворотній зв'язок від споживача. Вона забезпечує безперервність і взаємозалежність усіх етапів процесу, сприяючи підвищенню ефективності, якості та стійкості індустрії моди (рис. 5).



Рис. 5. Загальна модель цифровізації процесу створення і реалізації модного продукту

Впровадження такої моделі забезпечить зростання ефективності інтеграції цифрових алгоритмів і систем в індустрію одягу, сприяючи оптимізації всіх етапів створення, виробництва та реалізації продукції.

Висновки

В роботі представлено теоретичне обґрунтування та практичне впровадження комплексної моделі цифровізації індустрії моди. В результаті дослідження встановлено, що сучасні інструменти, такі як системи автоматизованого проектування, тривимірне сканування, технології доповненої реальності та штучний інтелект, створюють значні можливості для оптимізації усіх етапів життєвого циклу модної продукції.

Особливу увагу приділено розробці замкненої системи алгоритмів зі зворотними зв'язками, які забезпечують ефективну взаємодію між процесами дизайну, конструювання, виробництва, контролю якості, логістики та реалізації одягу. Такий підхід дозволяє не лише зменшити виробничі витрати, а й підвищити якість продукції, враховуючи індивідуальні потреби споживачів.

Впровадження цифрових технологій у виробництво та реалізацію одягу сприяє підвищенню його екологічності, функціональності та персоналізації, що відповідає сучасним вимогам ринку. Результати дослідження є актуальними для підприємств модної індустрії, які прагнуть підвищити свою конкурентоспроможність та забезпечити сталий розвиток за рахунок інноваційних технологій.

Список використаної літератури

1. Riabchykov M., Mytsa, V., Bondarenko, M., Popova T., Nechipor S., Nikulina, A., Bondarenko, S. (2023). Formation of complex 3D surfaces scans for garment CAD, *Vlakna a Textil*, 30 (3), 13-18. <http://doi.org/10.15240/tul/008/2023-3-002>.
2. Черевач В. Цифрова мода: основні чинники виникнення та соціокультурне значення. *Питання культурології*. 2023. Вип. 42. С. 307-315. <https://doi.org/10.31866/2410-1311.42.2023.293804>.
3. Riabchykov M., Mytsa, V., Tkachuk, O., Pakholiuk, O., Melnyk, D. (2024). Efficiency of Protective Textile Smart Systems Using Electronic Tags. In: Nechiporuk, M., Pavlikov, V., Krytskyi, D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2023. ICTM 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, 1008. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61415-6_16.
4. Фещенко Н. Вплив інформаційних технологій на процес проектування одягу у сучасному світі з оглядом супроводжуючого програмного забезпечення, огляд актуальних систем САПР. *Молодь і ринок*. 2020. № 1. С. 171-176. <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2020.196218>.
5. Cay A. (2018). Energy consumption and energy saving potential in clothing industry. *Energy*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.128>.
6. Caiazzo V., Mario di n., Murino T., Petrillo A., Piccirillo G., Santini S. (2022). Towards Zero Defect Manufacturing paradigm: A review of the state-of-the-art methods and open challenges. *Computers in Industry*, 134, 103548. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103548>.
7. Гагило В. П., Шевченко І. О. Логістика в умовах цифровізації: логістичний ланцюг та функціональні області. *Часопис економічних реформ*. 2024. № 1. С. 78-85. <https://doi.org/10.32620/cher.2024.1.10>.
8. Олешко Т.І. Цифрова економіка: підручник / Т. І. Олешко, Н. В. Касьянова, С. Ф. Смерічевський та ін. К. : НАУ, 2022. 200 с.
9. Лагода О. М., Гурдіна В. В., Пасічник В. О. Масова кастомізація одягу як концепція індивідуалізації в сучасних дизайн-практиках. *Art and Design*, 2021. № 2. С. 129-140. <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2021.2.12>.
10. Riabchykov M., Mytsa V., Ryabchykova K. (2024). Artificial Intelligence as a Tool for the Development of Professional Competencies of a Fashion Industry Specialist. In: Faure, E., et al. *Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2024. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 222. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71804-5_20.
11. Lyu Y., Lv(u) X. (2022). The Cutting-Edge Applications and Trends of Big Data and AI Technology in the Digitalization of the Fashion Industry. In: Atiquzzaman, M., Yen, N., Xu, Z. (eds) *2021 International Conference on Big Data Analytics for Cyber-Physical System in Smart City. BDCPS 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 102. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7466-2_119.
12. Іванова І.В., Боровик Т.М., Залозна Т.Г., Руденко А.Ю. Використання штучного інтелекту в маркетингу. *Маркетинг і цифрові технології*. 2023. Т. 7. № 2. С. 32-42. <https://doi.org/10.15276/mdt.7.2.2023.3>.
13. Чернишова О.О., Домашенко С.В., Домашенко Д.Г. Вплив штучного інтелекту на бізнес-процеси з метою оптимізації та покращення ефективності роботи організації. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2024. Т. 35(74). № 2. С. 196-204. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.2/27>.
14. Мица В. Цифрова трансформація fashion-індустрії: ключові технологічні тренди та інновації. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2024. № 4 (339). С. 296-300. <https://heraldts.khmnu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/367>.

References

1. Riabchykov M., Mytsa, V., Bondarenko, M., Popova T., Nechipor S., Nikulina, A., Bondarenko, S. (2023). Formation of complex 3D surfaces scans for garment CAD, *Vlakna a Textil*, 30 (3), 13-18. <http://doi.org/10.15240/tul/008/2023-3-002>.
2. Cherevach V. (2023). Tsyfrova moda: osnovni chynnyky vynyknennia ta sotsiokulturne znachennia. *Pytannia kulturolohii*. vol. 42, pp. 307-315. <https://doi.org/10.31866/2410-1311.42.2023.293804>.
3. Riabchykov M., Mytsa, V., Tkachuk, O., Pakholiuk, O., Melnyk, D. (2024). Efficiency of Protective Textile Smart Systems Using Electronic Tags. In: Nechiporuk, M., Pavlikov, V., Krytskyi, D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2023. ICTM 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, 1008. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61415-6_16.
4. Feshchenko N. (2020). Vplyv informatsiinykh tekhnolohii na protses proektuvannia odiahu u suchasnomu sviti z ohliadom suprovodzhuiuchoho prohramnoho zabezpechennia, ohliad aktualnykh system SAPR. *Molod i rynek*, no. 1, pp. 171-176. <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2020.196218>.
5. Cay A. (2018). Energy consumption and energy saving potential in clothing industry. *Energy*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.128>.

6. Caiazzo B., Mario di n., Murino T., Petrillo A., Piccirillo G., Santini S. (2022). Towards Zero Defect Manufacturing paradigm: A review of the state-of-the-art methods and open challenges. *Computers in Industry*, 134, 103548. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103548>.
7. Hatylo V.P., Shevchenko I.O. (2024). Lohistyka v umovakh tsyfrovizatsii: lohistrychni lantsiuh ta funktsionalni oblasti. *Chasopys ekonomichnykh reform*, no. 1, pp. 78-85. <https://doi.org/10.32620/cher.2024.1.10>.
8. Oleshko T.I., Kasianova N.V., Smerichevskiy S.F. (2022). *Tsyfrova ekonomika: pidruchnyk*. in. Ukrainian: NAU.
9. Lahoda O. M., Hurdina V. V., Pasichnyk V. O. (2021). Masova kastomizatsiia odiahu yak kontseptsiiia indyvidualizatsii v suchasnykh dyzain-praktykakh. *Art and Design*, no. 2. pp. 129-140. <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2021.2.12>.
10. Riabchykov M., Mytsa V., Ryabchykova K. (2024). Artificial Intelligence as a Tool for the Development of Professional Competencies of a Fashion Industry Specialist. In: Faure, E., et al. Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2024. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 222. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71804-5_20.
11. Lyu Y., Lv(u) X. (2022). The Cutting-Edge Applications and Trends of Big Data and AI Technology in the Digitalization of the Fashion Industry. In: Atiquzzaman, M., Yen, N., Xu, Z. (eds) 2021 International Conference on Big Data Analytics for Cyber-Physical System in Smart City. BDCPS 2021. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 102. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7466-2_119.
12. Ivanova I.V., Borovyk T.M., Zalozna T.H., Rudenko A.I. (2023). Vykorystannia shtuchnoho intelektu v marketynhu. *Marketynh i tsyfrovi tekhnolohii*, vol. 7, no. 2, pp. 32-42. <https://doi.org/10.15276/mdt.7.2.2023.3>.
13. Chernyshova O.O., Domashenko S.V., Domashenko D.H. (2024). Vplyv shtuchnoho intelektu na biznes-protsesy z metoiu optymizatsii ta pokrashchennia efektyvnosti roboty orhanizatsii. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky*, vol. 35(74), no. 2, pp. 196-204. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.2/27>.
14. Mytsa V. (2024). Tsyfrova transformatsiia fashion-industrii: kliuchovi tekhnolohichni trendy ta innovatsii. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky*, no. 4 (339), pp. 296-300. <https://heraldts.khmnu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/367>.