

Борисенко Д. В.

Українська інженерно-педагогічна академія

ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
У ДИЗАЙНІ ОДЯГУУДК 745.53+688.78
ID ORCID 0000-0001-5566-6406
DOI 10.33625/2409-2347-2020-2-17-27

Борисенко Д. В. Застосування адитивних технологій у дизайні одягу. У статті здійснено аналіз сучасних практичних досліджень щодо використання адитивних технологій та їх ролі для дизайн-проектування. Підкреслено важливість залучення адитивних технологій у fashion-індустрію, у процесі розробки нових моделей fashion-продукту та необхідність вирішення наявної проблематики сировинної бази. Визначено особливості застосування адитивних технологій на різних етапах дизайн-проектування. Зазначається важлива роль використання адитивних технологій у процесі розробки моделей-прототипів одягу. Виділено етапи залучення адитивних технологій та напрями практичного їх використання у fashion-індустрії. Розкрито унікальні можливості залучення адитивних технологій у ході рішення текстури та фактури, досягнення їх об'ємного рішення в моделі. Дано визначення поняття «декор-конструкція» та її ролі в дизайн-проектуванні нових моделей одягу. Досліджено особливості залучення адитивних технологій при проектуванні fashion-продукту, моделі-прототипу на базі декору-конструкції.

Ключові слова: адитивні технології, 3D-друк, одяг, fashion-продукт, декор-конструкція.

Борисенко Д. В. Применение адитивных технологий в дизайне одежды. В статье проведен анализ современных практических исследований по использованию адитивных технологий и их роли для дизайн-проектирования. Подчеркнута важность привлечения адитивных технологий в fashion-индустрию, в процессе разработки новых моделей fashion-продукта и необходимость решения существующей проблематики сырьевой базы. Определены особенности применения адитивных технологий на разных этапах дизайн-проектирования. Отмечается важная роль использования адитивных технологий в процессе разработки моделей-прототипов одежды. Выделены этапы привлечения адитивных технологий и направления практического их использования в fashion-индустрии. Раскрыты уникальные возможности привлечения адитивных технологий в ходе решения текстуры и фактуры, достижения их объемного решения в модели. Дано определение понятия «декор-конструкция» и ее роли в дизайн-проектировании новых моделей одежды. Исследованы особенности привлечения адитивных технологий при проектировании fashion-продукта, модели-прототипа на базе декора-конструкции.

Ключевые слова: адитивные технологии, 3D-печать, одежда, fashion-продукт, декор-конструкция.

Borysenko D. Application of additive technology in the design of clothes

Background. In recent years, there has been an increasing interest in attracting additive technology. These technologies are used in many industries and design, as well as in the fashions industry, clothing and accessories development. The most significant contribution of this technology is made in the process of prototyping, creating rapid material models. Additive technology is actively involved in concept projects and development of models of high fashion. This allows to expand gradually the limits of application of

these technologies from accessories to production of solid models. Additive technology affects the operating conditions of the future product and increases the productivity of the process of creating modern clothing. This is achieved by using a unique microenvironment for the consumer.

Objectives. The purpose of this study is to review the use of additive technology and to determine the level of development of practical proposals for new solutions of clothing models in this direction. The purpose of the publication is to highlight important modern features of clothing design decisions based on additive technologies and practical approbation of design directions for individual clothing details, involvement of décor-structures. First of all, the task is to consider the involvement of additive technologies not only in production processes, but also in providing the stages of development of new models, prototyping as an important method of finding new design solutions.

Methods. The research methodology is based on the methods developed in the works of M. Thompson, G. Moroni, T. Vaneker and others.

Results. The article reviews the directions of clothing development and the application of additive technology in clothing development. It was necessary to highlight the practical features of attracting additive technology and their place in the production of unique designer products, accessories and clothing solutions. It was important to analyze the current state and level of application of additive technology. Areas of their application in the development of clothing and characteristic features of the solution of clothing models with additive production elements were selected and systematized. The author identified the directions of use of additive technology in the process of clothing production. The material base of additive technology was analyzed. The author highlights the stages of attraction of additive technologies and directions of their practical use in the fashion industry. We would like to stress separately the importance of innovative direction of development of additive technology – 4D printing. We carried out the practical testing of attraction of additive technology in designing of garment on the bases décor-structures to achieve individuality of design-development. The use of additive technology plays an important role in the artistic solution of the model. Their consideration in the process of computer modeling of the future form allows to form a new approach to the solution of composition, stylization and decoration. The use of innovative materials with new color, invoice and individual solutions in the process of additive production takes a significant role. It was appropriate to consolidate and systematize the experience of attracting additive technology in light industry and production of individual clothing, development of clothing items and creation of new directions of possible use of these technologies on the basis of analytical studies. The innovative direction of additive production development – 4D-positioning took place. The author considered the features of attracting additive technology in the production of clothing and practical possibilities of their use in the solution of clothing elements. It was necessary to analyze the materials for additive production and their application in light industry. The attention is

focused on the benefits of attracting additive production. The author stressed its impact on the implementation of the individual approach to the manufacture of models, the creation of garment on the bases décor-structures. It was important to evaluate the operational properties, the possibilities of solving the shape and structural elements of the manufactured working copies.

Conclusions. Additive technology influences the rethinking of the design of new products, the use of materials and the development of the industry as a whole. They implement a revolution in production and a review of the functioning of traditional production lines. This can lead to a possible collapse of the conveyor manufacturing era. In the course of practical testing of the attraction of additive technology during the development of garment on the bases décor-structures, their universality, high efficiency with minimal use of the equipment and practical implementation in a short period of time are confirmed. Expansion of additive technology functionality requires additional researching, laboratory experiments and searching for new materials, new directions of attraction in the process of design and manufacture of clothing.

Today additive technology is popular and forms a separate direction for improving ecology in the conditions of modern industry. This can be realized only due to more economical, processing, simple technologies that demonstrate the intensive development of human civilization in harmony with nature. The wide involvement of additive technology in light industry will be an important step towards the restructuring of traditional production, which has not changed since the emergence of weaving equipment and is characterized only by extensive expansion of equipment, accessories and complication of production. Additive technology is the driving force of the development of the future technological process, individualization and the ability to create new forms of design.

Keywords: additive technology, 3D printing, clothes, fashion-product, décor-structures.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Сучасне дизайн-проектування одягу опиняється на переломному моменті кардинальних змін, залучення нових технологій виробництва. Серед перспективних упроваджень у цьому напрямку є застосування адитивних технологій, які створюють новий базис для проектування одягу та отримання високоякісних продуктів. Це дозволить отримати як швидкі моделі-прототиби, зразки для подальших досліджень, так і практичні моделі одягу з новим конструктивним наповненням. А найголовніше — налагодити сучасний процес розробки та виробництва, який буде враховувати нові особливості проектування на базі залучення адитивних технологій.

Важливо зазначити, що адитивні технології головним чином зосереджені на результативному етапі проектування: забезпечують виробничу стратегію розвитку та залучення нового методу створення продукту — методу, який кардинально відрізняється від класичних методів виготовлення одягу та, відповідно, вимагає переорієнтування процесу проектування нових продуктів. Це є однією з перших проблем нових технологій, які знайшли вирішення за рахунок залучення комп'ютерних засобів для

більш деталізованої розробки продукту та врахування технічних особливостей протікання процесу формоутворення моделі.

У багатьох галузях уже широко залучаються адитивні технології, але їх використання в ході дизайн-проектування одягу зустрічає низку проблем — і не лише з матеріалом та намаганням його обіграти при розробці одягу, що призводить до неефективного використання та низького рівня залучення в даному напрямку. Саме дослідженню проблематики залучення адитивних технологій у галузі дизайну одягу присвячена дана робота.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор.

Питання зростання використання адитивного виробництва, застосування 3D-друку, його переваги та проблеми впровадження розглядали М. Аттаран [8], У. М. Дільбероглу, Б. Харайхапагх, У. Яман, М. Долен [11], М. К. Томпсон, Дж. Мороні, Т. Ванекер, Ж. Фадель, Р. Я. Кемпбелл, Я. Гібсон, А. Бернар, Й. Шульц, П. Граф, Б. Ахуджа, Ф. Мартіна [10], П. Мілошевич, С. Богович [16], Д. А. Шейх, М. Ф. Уїд, А. М. Халід, І. А. Куреші [21], Л. М. Арруда, Х. Карвальо [7], А. Пасріча, Р. Грінінгер [18], Дж. Лю, К. Хан, А. Садачар [15] та інші. Дослідженням використання адитивних технологій у розробці нових виробів займаються М. Блумфілд, Ш. Борстрок [9], В. Верлан, М. Ірован [22], Х. Маккормік, Р. Чжан, Р. Бордман, С. Джонс, К. Е. Геннігер [4]. Застосування 3D-друку в галузі виробництва одягу зорієнтовано головним чином на отримання нових конструкцій матеріалів (С. Кім, Х. Сонг, Ю. Хьо, Дж. Чун [14], Б. Нам, А. Берман, Б. Гарсія, Ш. Чу [17]), реалізацію захисних функцій (В. Чжун, Н. Пан [23]), створення смарт-текстилю (Ц. Ши, Дж. Сан, Ч. Хоу, Я. Лі, Ц. Чжан, Х. Ван [6]). На сьогодні активно опановується новий напрям застосування адитивних технологій та з'являється концепція 4D-друку, висвітлена в роботах таких авторів, як Ю. С. Луї, В. Т. Соу, Л. П. Тан, Ю. Ву, Ю. Лай, Х. Лі [5], Х. Дін, С. Чжан, Ю. Луї, З. Рамакришна [12], Д. Шмельцейзен, Х. Кох, К. Пасторе, Т. Гріс [19]. Серед вітчизняних дослідників, котрі працюють над розбудовою адитивних технологій, можна виділити Г. О. Андрощука [1], П. Ф. Зозулю, О. С. Поліщука, А. О. Поліщука [2], О. Г. Андрееву, В. В. Гетманцеву, Ю. Д. Шахматову [3] та ін.

Важливо зазначити велике зацікавлення до використання адитивних технологій провідних фахівців, у тому числі дизайнерів одягу, котрі реалізують як комплексні рішення одягу, так і окремі елементи й аксесуари. Так, Г. О. Андрощук [1], аналізуючи генезис адитивних технологій, акцентує на високому показни-

кові динаміки зростання даних технологій та їх потенційних можливостях, що дозволяють переорієнтувати увагу в процесі проектування саме на пошук нових рішень та практичних досліджень у цій галузі. Особливо це стосується напряму дизайн-проектування одягу, що має перспективи у підвищенні дослідницької активності, та врахування вже особливостей 4D-адитивних технологій.

Робочою групою дослідників під керівництвом Л. М. Арруда та Х. Карвальо [7] здійснюється спроба розробити прообраз технологічного одягу, який уособлює продовження тіла людини та створення спеціальних предметів одягу, протезів. Дослідниками вивчаються особливості проектування простих предметів одягу на базі муляжного методу розробки із залученням програмних засобів автоматизованого проектування, насамперед Solid Works та Fusion 360. Дизайнерами аналізуються та практично реалізуються лише твердотілі моделі, що виключає намагання наслідування властивостей тканини та імітації драпірування. Дослідники акцентують на проблемі якості у зв'язку з обмеженням використання сировини в практичній розробці. При цьому проявляються та демонструються труднощі практичної реалізації, що зумовлено залученням складних формоутворень та конструкцій без урахування особливостей залучення адитивних технологій у ході проектування моделі. Дослідниками замовчується практичний аспект проблематики запровадження даних технологій.

М. Аттаран у своїй роботі [8] підкреслює роль адитивних технологій та їх еволюційного «прориву» останнім десятиліттям, окремо — такого, що розвивається, напряму адитивних технологій, 3D-друку. Аналізуючи основні технологічні особливості залучення адитивних технологій, дослідник наголошує, що адитивні технології — це сучасний потужний інструмент, який не лише знизить складність розробки та виготовлення моделей, а й стане революційним трансформаційним засобом у багатьох галузях виробництва, напрямах дизайну. У свою чергу, це приведе до зменшення ітерації при проектуванні, генерації нових творчих художньо-технічних рішень, зовнішнього вигляду та конструкцій моделей, розбудови децентралізованого локалізованого виробництва.

Групою науковців, серед яких М. К. Томпсон, Дж. Мороні, Т. Ванекер та інші [10], більш системно проаналізовано залучення адитивних технологій у сферу дизайну та виокремлення трьох рівнів абстракції: рівень адаптації на базі конкретних інструментів, методів та вказівок; розуміння та кількісна оцінка первинних результатів для підвищення потенціалу впровадження; дослідження впливу

на процес проектування та дизайнера. У такий спосіб адитивні технології запроваджують нову практику проектування, на меті якої є подолання «когнітивних бар'єрів», накладених минулим досвідом та традиційною технологією виготовлення, постійними обмеженнями в матеріалі та рішенні конструкції. Це породжує появу в близькому майбутньому дизайн-рішень нових поверхонь, текстур та, відповідно, конструкційних будов, ще більшої генерації ідей та реалізації творчих задумів дизайнерів одягу.

Про більш практичні дослідження йдеться в роботі М. Блумфілда та Ш. Борстрока [9], яка характеризується представленням результатів розробки текстилю Modeclix на базі адитивних технологій. Даний продукт себе вже зарекомендував на світовій арені та був продемонстрований на багатьох міжнародних виставках. До того ж це не лише інноваційний матеріал, а й сформований напрям у дизайн-проектуванні — з нескінченними можливостями деконструкції та реконструкції, модульного дизайнерського рішення. Це є першим фактичним зазначенням щодо позиції надання адитивним технологіям окремого напряму в дизайн-проектуванні, зосередження на більш важливому напрямі — процесі розробки нової моделі, ніж виробничих особливостях залучення.

Дослідження У. М. Дільбероглу, Б. Харайхапах та ін. [11] демонструють, що адитивні технології стають плацдармом розбудови індустрії 4.0 та нового технологічного розвитку нашої цивілізації, нових підходів до проектування, подолання певних бар'єрів на базі нових технологій виробництва. Крім того, адитивні технології, на думку авторів [11], дозволять недосвідченим дизайнерам досягати ефективних результатів у використанні об'єктивних конкретних методологій на базі оптимізації типології — отримання найкращої форми із задоволенням певних вимог. Тож адитивні технології є унікальним сучасним методом навчання майбутніх дизайнерів, ознайомлення та практичного опанування нового технологічного забезпечення та прийомів проектування.

У роботі П. Ф. Зозулі, О. С. Поліщука, А. О. Поліщука [2] зазначаються напрями застосування адитивних технологій, з яких особливу увагу привертає персоналізація одягу. Авторами роботи [2] також піднімається питання екологічності, можливості залучення перероблених матеріалів у виробництво нових. Дослідниками розглядаються лише синтетичні матеріали для виробництва, хоч на сьогодні вже розроблено широкий асортимент природних матеріалів, які мають мінімальний строк розкладення після повного циклу експлуатації виробу. Також авторами статті [2] не піднімається питання щодо напряму розробки нових моделей одягу із залученням адитивних

технологій на етапі проектування, що більш важливо, ніж кінцевий етап технологічного виготовлення. Хоч у дослідженні й зазначається позиціонування на швидкому прототипуванні нових моделей, але без деталізації цього етапу розробки.

Аналіз досліджень у напрямку залучення адитивних технологій підтверджує їх значний потенціал у розробці дизайн-продуктів. Сучасне залучення адитивних технологій переживає вже другу хвилю адаптації, враховуючи, що першою було винайдення цієї технології та провальне впровадження через відсутність на той час фінансування й перспективи застосування поряд з існуючими традиційними замінниками. Але на порозі нових технологічних проривів та актуалізації інноваційних розробок адитивні технології набули нового рівня розгортання — не як підтримка виробництва, а як напрям дизайн-проектування. У всіх проаналізованих дослідженнях підкреслюються саме переваги цих технологій та рекомендації до впровадження, надані позитивні прогнози застосування й зазначена ексклюзивна роль їх подальшого розвитку.

Постановка завдання. У рамках нових концепцій адитивні технології є однією зі стратегічних технологій та важливим «інгредієнтом» розбудови промисловості, розвитку цивілізації [11, с. 545]. Хоч ми ще повноцінно не перейшли бар'єр у напрямку повноцінної автоматизації виробництва, широкомасштабного залучення передових технологій четвертої промислової революції, але вже є суттєві надбання для побудови фундаменту майбутніх технологій. Цим надбанням виступають перші пробні моделі, масові екземпляри та поява проблематики щодо подальшого впровадження, яка поступово вирішується дослідниками зі всього світу. Ці технології дуже активно впроваджуються в галузь розробки одягу, fashion-індустрію, активізуючи нове коло проведення досліджень та отримання практичних результатів, матеріальних моделей fashion-продуктів. Попри всі наявні дослідження, залишаються найменш дослідженими особливості залучення адитивних технологій при розробці одягу та аксесуарів, насамперед практичні сторони впровадження, а не ідейні проекти, які чекають на реалізацію та, можливо, залишаться на теоретичному рівні осягнення.

Метою публікації є виокремлення важливих сучасних особливостей рішення дизайну одягу на базі адитивних технологій та практична апробація напрямків проектування окремих деталей одягу, залучення декору-конструкцій. Насамперед стоїть задача щодо розгляду залучення адитивних технологій не лише у виробничих процесах, а й у забезпеченні етапів розробки нових моделей, виготовлення прото-

типів як важливого методу пошуку нових дизайнерських рішень. Методологія дослідження основана на методах, розроблених у працях М. К. Томпсона, Д. Мороні, Т. Ванекера та ін.

Виклад основного матеріалу. Дизайн одягу є одним із найбільш розвиваючих напрямів у проектувальній галузі, метою якого є максимальне досягнення ефективності та естетичності. Попри те, що одяг, який ми носимо щодня, з першого погляду може не проявляти найвищі форми дизайнерського рішення, — в ньому закладені головні елементи дизайну, які базуються на модних трендах, інноваційних рішеннях та сучасних технологіях. Щодо останніх, серед таких технологій окреме місце займають саме адитивні технології. Вони покликані кардинально змінити думку щодо одягу та його виробництва загалом. Але це ще в майбутньому, а нині ці унікальні технології дозволяють створювати прототипи майбутніх моделей, на базі яких проводяться дослідження з метою покращення функціональності та естетики, розробки нових формоутворень, унікальних поєднань, конструкцій та матеріалів.

Адитивні технології попри простоту технологічного процесу, в якому вони залучаються, та те, як реалізуються, мають ширше розуміння. Хоч головна ідея даної технології передбачає поступове додавання матеріалу та отримання в результаті готової продукції без необхідності додаткових складних операцій. Ця технологія може на сьогодні реалізуватись із залученням впливу світла, температур, хімічних процесів та з використанням широкого асортименту матеріалів. При цьому головним є саме процес розробки проекту моделі, котра буде створюватися на базі цих технологій та врахування більшої кількості властивостей. Так, для дизайну одягу це перехід до розробки суцільних конструкцій та комплексного врахування кожного елемента в системі, яка не роз'єднується та має гармонічно поєднуватися. Дизайнерам, котрі будуть працювати з адитивною технологією, важливо зосередитись, крім фантазійних рішень для високої моди та створення ексклюзивних убрань, на практичних сторонах уже готової продукції. Одяг, розроблений на базі адитивних технологій, має не втратити широку аудиторію реалізації, а навпаки, перевершити показники одягу, виготовленого на базі класичних швацьких технологій.

Адитивні технології можуть залучатися як на кінцевому процесі розробки одягу — при його виготовленні, так і на кожному з етапів дизайн-проектування:

- на етапі попереднього аналізу та при складанні технічного завдання — завдяки залученню адитивних технологій можливе проведення більш якісного дослідження аналогів та розробки «швидких» прототипів, вивчення

- унікальних формують особливостей та рішень конструкцій, а також великої кількості показників безпосередньо на прототипі як дієвій моделі аналізу;
- на етапі аналізу та розробки художньо-конструкторських пропозицій — адитивні технології виступають важливим елементом економії ресурсів за рахунок багаторазового використання матеріалу та досягнення створення значної кількості варіантів прототипів-пропозицій та їх аналізу; крім того, самі методи реалізації адитивних технологій у процесі створення прототипу стають творчим ідейним рішенням та розглядаються як засіб-ідея в рішенні нових моделей;
 - на етапі ескізних пропозицій — прототипи, створені на базі адитивних технологій, набувають нового напрямку розвитку, застосовуються для пошуку нових конструктивних схем, поєднань та компоновки елементів у досягненні розв'язання проектної задачі;
 - на етапі художньо-конструкторського проекту — розроблені прототипи досягають максимально завершеного вигляду та деталізуються кінцевим варіантом, набувають ознак еталона;
 - на етапі робочого проектування — прототип, створений на базі залучення адитивних технологій, набуває ознак готового дослідницького зразка, тим самим здійснюються перші кроки виробництва продукту;
 - на етапі експертизи — прототипи стають головними елементами перевірок, демонструють відповідність вимог, які закладалися на попередніх етапах.

Аналізуючи особливості залучення адитивних технологій у проектуванні одягу, можливо виявити практичне використання різних типів прототипів та методів адитивних технологій, які стають ідейним напрямком творчої розробки, породжують новий формат пошуку та оптимізації наявних рішень. До адитивних технологій входить значна кількість напрямів, серед яких: 3D-друк, швидке прототипування, пряме цифрове виготовлення, багат шарове виготовлення, виготовлення добавок тощо [8]. Саме 3D-друк став на сьогодні найбільш популярним із напрямів адитивних технологій та повним заміником назви даних технологій у більшості наукових досліджень. Хоч його розглядають лише в позиціонуванні виробництва та отримання кінцевого зразка моделі в матеріалі, 3D-друк став уособленням технології швидкого прототипування та відтворення будь-якої складності фантазійних рішень.

Адитивні технології на сьогодні представлені широким напрямом залучення у виробничі процеси та проектування різних технічних моделей. Вони є унікальним методом пошуку нових рішень та реалізації швидкого прото-

типування в межах генеративного дизайну із залученням комп'ютерних засобів, технічного обладнання. Саме виготовлення «чорнових» прототипів дозволяє дизайнерам повернутися до сучасного матеріального формоутворення з елементами муляжного методу. Головна увага прикута до продукування нових зразків на базі індивідуального підходу, врахування персоналізованих прототипів та дистанційної віртуальної примірки. На сьогодні активно розробляються та впроваджуються віртуальні примірочні як альтернативні традиційним контактним варіанти, котрі вирішують одночасно дві головні проблеми: реалізації та проектування нових моделей. При цьому розробка нових моделей відбувається за представленими параметрами форми споживача, що дозволяє дизайнеру більш предметно підходити до розробки нових моделей з урахуванням особливостей параметричної форми майбутнього користувача продукту.

Безпосередньо в галузі проектування одягу та модних аксесуарів залучення адитивних технологій дозволяє організувати високотехнологічний процес розробки із залученням нового спектра матеріалів та конструктивних форм. Проектування нових виробів завдяки залученню адитивних технологій дозволяє не зупинятися на обмеженнях традиційної системи сировинного забезпечення, створювати суцільні конструкції будь-якої складності та деталізації. Особливе місце відводиться саме етапу розробки пропозицій, які позиціонують у 3D-рішенні та безпосередньо в матеріалі завдяки 3D-друку. Виключаються необхідність залучення низки додаткового обладнання для виготовлення зразка й локалізація первинної дослідницької діяльності в межах одного цеху, однієї виробничої потужності та, відповідно, фахівців технологічного циклу. При цьому більша увага зосереджується саме на проектуванні та діяльності дизайнерів. Вони, у свою чергу, не лише розробляють ідейне рішення, моделі-пропозиції та прототипи, а й отримують перші матеріальні зразки, реалізують автоматизований виробничий процес. Крім того, дизайнери можуть залучатися в декількох проектах одночасно.

Поява нових можливостей відкриває широкий плацдарм для дизайнерського рішення, втілення неймовірних проєктів у реальність та величезний практичний аспект їх реалізації. Тепер непотрібно обмежуватися пластиком форм тканини або текстильного матеріалу, навпаки — можна втілювати фантазійні формоутворення та конструкції, яких не вдалося б досягти традиційними шляхами.

Адитивні технології поки що поступово залучаються у сфері дизайну, легкої промисловості, виготовленні одягу та взуття. Вирішення

питань відтворення традиційного одягу засобами інноваційних технологій є головною задачею нового покоління інженерів та дослідників, складність якої загалом зводиться до вибору матеріалу та конструкції моделі, а також «конвертування» досвіду з інших галузей промисловості з більшою часткою залучення адитивного виробництва. Першим етапом залучення адитивних технологій можна вважати відкриття самої технології ще у 80-х роках минулого століття (Чак Хал, 1984) та експериментальні дослідження щодо можливості її широкого впровадження, яке не увінчалось успіхом. Другим етапом стало відродження технології та сучасний стан розробки, котрий дозволяє розробляти як окремі елементи, так і суцільні моделі. На цьому етапі впровадження адитивних технологій відбуваються заміщення сировинної бази та розробка концептуально нових моделей виробів, адаптація підходів дизайн-проекування до нових умов та широке залучення прототипування як дієвого методу розробки. На третьому етапі, котрий планується реалізувати в найближчі строки, — поява нових матеріалів, методів та повне заміщення традиційного виробництва.

На сьогодні загалом можливо виокремити наступні практичні напрямки використання адитивних технологій у процесі проектування одягу за видом виробу та його складових:

- розробка нових типів матеріалів для одягу та їх конструкцій;
- розробка аксесуарів та декору;
- розробка фурнітури та елементів одягу;
- розробка суцільного одягу.

Дана технологія дозволяє отримувати персоналізовану й унікальну продукцію на базі нових дизайнерських рішень, враховувати будь-які забаганки споживача на комерційно вигідних умовах для виробництва, з меншою витратою часу та зниженням вартості продукції. Крім того, стає можливим створення нових моделей без шаблонів, лекал і форм. Усе це замінюють більш практичні та гнучкі віртуальні прототиби.

У традиційному проектуванні одягу при всіх можливих додаткових заходах не вдається досягти однорідного додержання високого рівня відповідності конструкції одягу до антропометричних характеристик людини — що є можливим при застосуванні адитивних технологій. Крім того, з'являється новий тип одягу — одяг суцільного виготовлення з повною відсутністю швів та додаткового нашарування. Уже не потрібні прокладки та утеплювачі в одязі: їх замінює унікальний матеріал різної товщини залежно від необхідності досягнення утеплення або формостійкості на певних ділянках виробу. У рамках екологічного напрямку досягається використання матеріалів, які мо-

жуть розкладатися без шкоди для природи, а також застосовуються композитні матеріали на біологічній основі. Великого значення набуває мистецьке рішення в одязі, насамперед — пошук нових практичних утілень компонування, стилізації та декорування в надшвидких реаліях переходу від концепту до існуючого прототипу. Усе це переформатує дизайн-проекування, адаптуючи до вимог сучасності.

Адитивні технології мають велику перспективу впровадження саме завдяки реалізації нових дизайн-концептів, поєднання непоєднуваного, використання композитів та сучасних матеріалів. Наприклад, металу, полімерів, кераміки, скловолокна, спеціальних та «розумних» матеріалів. До останніх належать унікальні технологічні «інтелектуальні» матеріали, які можуть змінювати геометрію, положення в просторі, форму предмета. Виробництво «розумних» матеріалів уже покладається на більш сучасний напрям адитивних технологій — 4D-друк.

Головною з проблем адитивних технологій є поки відсутність практично поширеного спектра сировинної бази та наявність загалом лише синтетичних представників, насамперед пластику. Його характерні властивості накладають певні обмеження при проектуванні, формоутворенні та отриманні кінцевого продукту. Але водночас даний матеріал має широке практичне застосування в одязі, розробці окремих елементів одягу, фурнітури та аксесуарів. Пластик стає незамінним матеріалом при прототипуванні, багаторазовому використанні в моделях-пропозиціях і моделях-прототипах, які в наступних етапах розробки будуть доопрацьовуватися та сировина з розроблених моделей буде повторно використовуватися.

Матеріал для дизайнерів одягу відіграє важливу роль як засіб формоутворення, на базі котрого досягаються унікальні рішення. На сьогодні сировинна база адитивних технологій представлена синтетичними матеріалами для твердотілих моделей, які не зовсім підходять для розробки одягу, крім окремих його елементів або частин. Але це дизайнерів не зупиняє, і вони створюють фантастичні моделі та цілі наряди, які мають певні вади та обмеження у використанні. Наявний вибір матеріалу впливає на дизайн-проекування, яке оперує поки що твердотілими формами та конструкціями. Це, у свою чергу, дає можливість повністю заміщати в одязі металеві елементи, які при певних впливах на них можуть пошкодити тканину або інший матеріал виробу. Крім того, пластик не потрібно фарбувати: можна вибрати колір або створити його завдяки змішуванню різних складових. Таким чином, у проектуванні одягу використання адитивних технологій зосереджено нині в межах декору та

оздоблення, виготовлення окремих аксесуарів та конструктивних елементів. Але, враховуючи дослідження М. Блумфілда та Ш. Борстрока [9], це лише тимчасові рамки обмежень і вже в близькому майбутньому з'являться синтетичні аналоги тканини та конструкції «переплетінь» нових матеріалів для одягу. Для цього створено всі передумови, насамперед уже відомі нові типи біонічних заміників пластику.

Матеріал для адитивних технологій відіграє важливу роль при реалізації швидкого прототипування, яке може проходити зі створенням твердотілих або більш натуральних моделей із пластичними властивостями. За останніми вбачається сучасне позиціонування розробки нових моделей одягу, можливість реалізації більш деталізованих елементів, здатних до широкого спектра деформації форми. На сьогодні пластичність з урахуванням наявної сировинної бази вирішується на базі іншого напрямку — залучення кінетичних конструкцій, які дозволяють часткову податливість до згинання за рахунок перебудови конструктивних елементів модуля без розривання та пошкодження. Цим досягається розтягування та стягування, огинання великих криволінійних форм без чіткої їх передачі.

У практичній діяльності дизайнерів, крім конструктивних нових рішень моделей, особлива роль у процесі розробки відводиться оформленню зовнішнього прояву форми та її поверхні — текстурному й фактурному рішенню виробу. Узагальнене рішення поверхні зводиться до особливостей рішення виступаючих та увігнутих елементів поверхні, які формують візуальне сприйняття моделі. Ці елементи завдяки адитивним технологіям можуть бути враховані в процесі проектування разом з рішенням конструктивної основи та не виокремлюватись із загального процесу виготовлення. Інноваційний матеріал для нових моделей може мати не лише площинне рішення, а й об'ємні структури, що принципово неможливо для традиційного матеріалу без додаткових швацьких операцій. Перспективним продовженням цього напрямку рішення є залучення даних елементів рішення поверхні не лише локалізовано, а й по всій наявній поверхні та врахування в рішенні конструктивних елементів одягу. Тож організується новий напрямок дизайн-рішення одягу на базі поєднання конструктиву з декором.

Проектування елементів декору розширює межі застосування на базі залучення адитивних технологій та продукування нових ідейних рішень, насамперед декору-конструкцій одягу (рис. 1). При цьому під декором-конструкцією розуміється елемент оформлення моделі, який визначає загальне рішення продукту, визначаючи його функцію та форму. Це передбачає формування нової проектної концепції — розробки

елемента та пошук його можливого рішення в базовій конструкції майбутньої моделі. Декор виступає засобом формоутворення та візуального рішення всієї моделі. Елемент декору стає уособленням рапорту тканини, елементом конструктивної побудови, «пазлом» формоутворюючого рішення дизайнера, позиціонується як декор-конструкція. Це передбачає багаторазове використання елементів декору в рішенні конструкції одягу, його формоутворенні. Завдяки модульності елемента декору проектування реалізується за спрощеною методологією та на варіативності параметричних рішень. Хоч і це стосується параметрів розміру, положення, орієнтування та групування елементів, усі інші кроки вимагають від дизайнера максимальної творчої активізації до продукування нових вирішень форми та ідейних задумів, як і самого декору-конструкції.

Під час практичної апробації, розробки та матеріального виготовлення виробу на базі декору-конструкції (рис. 1), відбувалося стикання з рядом завдань, які потребували додаткового вирішення. Серед них — і додаткові етапи дослідження на базі прототипів, якими ставали перші «чорнові» моделі. На базі цих моделей виявлені прорахунки конструкцій та особливостей сировинної бази, а також неточність систем побудови, необхідність пошуку комп'ютерних засобів. Загалом можливо виділити декілька головних задач, які потребують обов'язкового врахування:

- конструктивні — вибір «правильної» конструкції моделі, що є однією з ключових проблем дизайну загалом, пошуку гармонічної форми, постійною задачею, перед якою опиняються дизайнери при створенні нових моделей;
- програмні — відбір програмних засобів для розробки, залучення яких у процесі дизайн-проектування збільшує продуктивність, результативність і практичне здійснення проекту, насамперед використання різних типів графічних редакторів, 3D-редакторів і допоміжного програмного забезпечення для створення, редагування, збереження, конвертування та інших зв'язаних процесів оформлення комп'ютерних моделей;
- технологічні — врахування особливостей адитивних технологій та безпосередньо вибраного методу реалізації (наприклад, у дослідженні використовувався метод FDM-друку для отримання матеріальних моделей-прототипів);
- ресурсні — сировинні, технічні та інші додаткові ресурси, потрібні для практичної реалізації проекту.

Отримані практичні результати підкреслюють великий потенціал можливостей застосування адитивних технологій та про-

стоту роботи з даною технологією поряд із необхідністю великих зусиль у ході творчого пошуку нових рішень та побудови моделей, а також більшої можливості реалізації унікальних формоутворюючих рішень у моделі.

Висновки. Людство — на порозі переходу до нових заощадливих та високотехнологічних кроків розвитку, одним із яких є адитивні технології. Їх концепція базується на простому та спрощеному підході до виробництва з високим рівнем автоматизації. Ця технологія швидко розвивається та вже себе зарекомендувала в різних напрямках масового та індивідуального виробництва, а також у процесі проектування. Особливе місце вона займає в процесі виготовлення одягу. Серед головних переваг нового продукту — персоналізований результат, максимальне задоволення споживача та унікальний продукт без масового дублювання. Серед головних труднощів широкого залучення в процесі виробництва одягу — пошук матеріалу, який би став повним замінником існуючих природних тканин та текстильних матеріалів. Попри існуючі труднощі адитивні технології презентують усе більше творчих та конструктивних рішень як окремих елементів одягу, фурнітури, так і суцільно виготовлених екземплярів.

На сьогодні адитивні технології поки що продовжують розглядатися та реалізовуватися як технології виготовлення з інноваційним підходом і сировинною базою, але це не так. Дані технології, крім високоякісних результатів, привносять дещо більше, ніж отримання «швидкого» продукту з неймовірними якістьми, — це технології, котрі розгортають новий підхід до дизайн-проектування, враховуючи використання прототипів та виключення бар'єрів традиційної сировинної бази, розробку надскладних конструкцій без урахування особливостей з'єднання. Адитивні технології впливають на переосмислення проектування нових виробів, їх дизайну, використання матеріалів і промисловості в цілому, реалізації революції виробництва та перегляду функціонування традиційних виробничих ліній, можливого згортання ери конвеєрного виробництва. Поки що ця технологія «на низькому старті», на стадії розробки фурнітури та декору, окремих елементів моделі одягу, але наступний рубіж — проектування нових продуктів для масового виробництва.

На практичному прикладі використання адитивних технологій — розробки декору, який у подальшому враховується в загальному вирішенні одягу та стає його головним компонентом конструкції, — підтверджується їх універсальність, новий спектр дизайн-рішень, висока ефективність з мінімальним застосуванням обладнання, підсилення впровадження

за короткий час. Водночас присутній широкий плацдарм для досліджень, практичних апробацій та пошуку все нових вирішень форми, матеріалів та напрямів залучення даних технологій у процесі дизайн-проектування нових рішень одягу. Так, наприклад, декор завдяки залученню даних технологій може переходити з рівня прикраси до рівня функціонального елемента або загального рішення конструкції форми, позиціонуватися як декор-конструкція. Уже сьогодні демонструються нові дизайн-підходи до вирішень елементів та конструкції одягу в цілому. Сучасне рішення одягу набуває нової течії розвитку на базі технологічних інновацій, насамперед урахування особливостей залучення адитивних технологій у процесі дизайн-проектування.

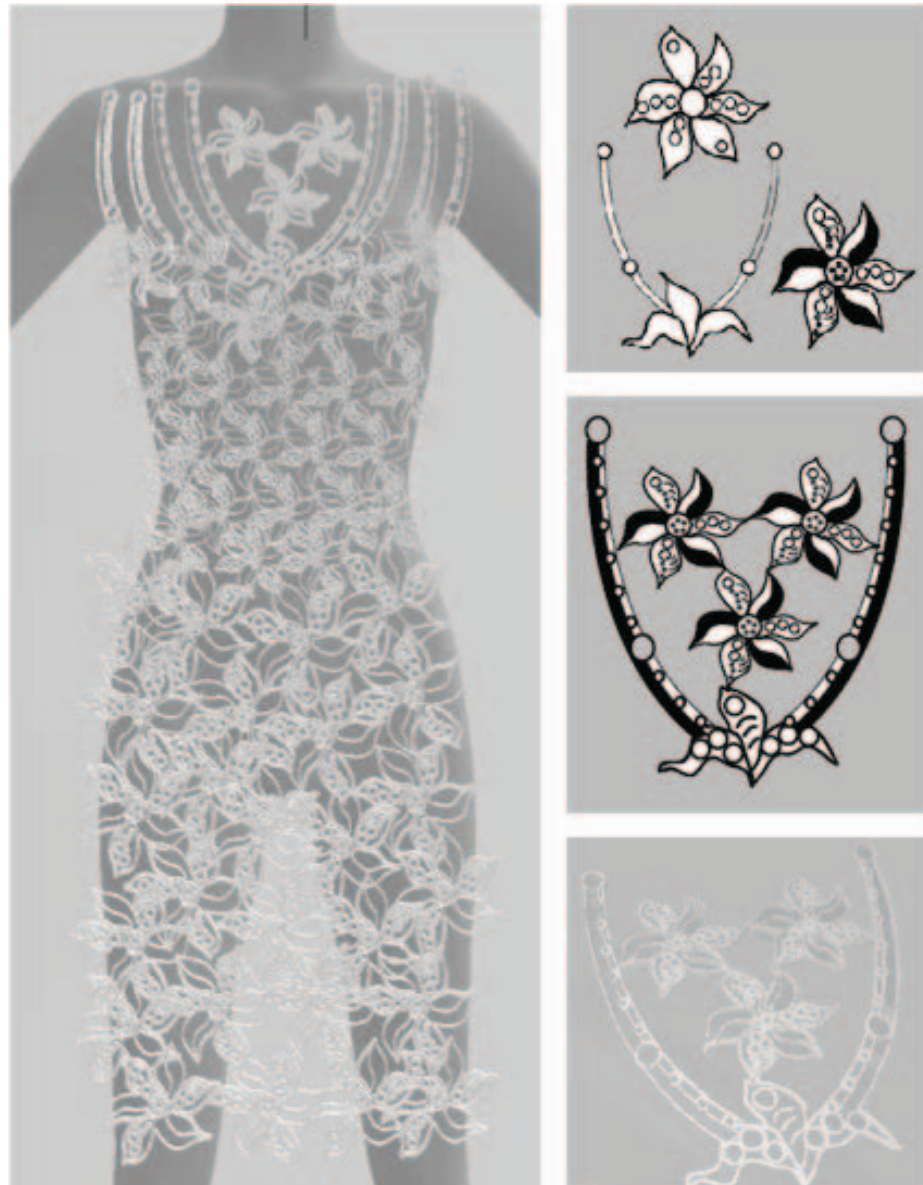
Перспективи подальших досліджень.

Адитивні технології є нині популярними, окремим відгалуженням екологічного напрямку розвитку промисловості, переходу на більш заощадливі, переробні, економічні, прості, інтенсивні, а не екстенсивні етапи розбудови людської цивілізації в гармонії з природою. Поряд з цим, широке залучення даних технологій у процес розробки одягу та втілення унікальних конструкцій стане важливим кроком до перебудови традиційного виробництва, яке не змінювалося з часів появи ткацького обладнання та характеризується лише нарощенням усе більшої кількості однотипних машин, пристосувань до них та ускладнення виробництва продукції.

Адитивні технології є рушієм розвитку майбутнього технологічного процесу, індивідуалізації та можливістю створення нових дизайн-форм.

На сьогодні технології адитивного виробництва пішли ще далі, активно запроваджується новий напрям — 4D-концепція. Вона враховує особливості тривимірного орієнтування елементів та всієї моделі, просторового реалістичного рішення. Додатковим елементом цієї концепції стало врахування четвертого виміру — часу, який також є важливим параметром існування дизайн-концепту будь-якої моделі та прорахунок якого є негативним проявом проектування, особливо для моделей одягу. Використання «четвертого виміру» в моделі багатьма науковцями зводиться до базування процесу проектування на трансформації форми під впливом відповідних подразників на сучасний матеріал [5]. Усе це стає можливим завдяки закладенню в конструкцію нового матеріалу та моделі, відповідно, додаткових елементів — капсул, у яких містяться речовини, що без негативного впливу на інший одяг або шкіру людини можуть змінювати зовнішній прояв моделі, виступають реагентом спеціальних реакцій,

Рис. 1. Розробка прототипу одягу на базі декору



запланованих виробником за певних умов. Завдяки впливу тепла або холоду, випромінювання, світла, вологи, хімічних подразників та електричного струму здійснюється зміна властивостей виробу, що формують концепцію одягу, який пристосовується до навколишнього середовища та власника.

У наступних дослідженнях автора планується розширити апробацію застосування адитивних технологій у створенні fashion-продуктів та елементів дизайну, організувати та спрямувати студентську спільноту до залучення цих технологій, збільшення практичної реалізації студентських дипломних практичних досліджень за цим напрямом. Зосередитися на залученні адитивних технологій при проектуванні моделей із властивостями, які можливо змінювати в процесі експлуатації, на врахуванні особливостей зміни функцій або інших трансформацій у конструкції.

Література:

1. Андрощук Г. Адитивні технології: перспективи і проблеми 3D-друку. *Наука, технології, інновації*. 2017. № 1. С. 68–77.
2. Зозуля П. Ф., Поліщук О. С., Поліщук А. О. Перспективи застосування технології 3d-друку в легкій промисловості. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. Хмельницький, 2017. № 4. С. 102–104.
3. Шахматова Ю. Д., Гетманцева В. В., Андреева Е. Г. Использование аддитивных технологий в производстве одежды. *Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2018)*: сборник материалов Международной научной студенческой конференции (17–19 апреля 2018 г.). Ч. 2. Москва: ФГБОУ ВШ «РГУ им. А. Н. Косыгина», 2018. С. 239–242.
4. 3D-Printing in the Fashion Industry: A Fad or the Future? / H. McCormick, R. Zhang, R. Boardman, C. Jones, C. E. Henninger. *Technology-Driven Sustainability* / Editors: Gianpaolo Vignali, Louise F. Reid, Daniela Ryding, Claudia E. Henninger. Cham: Springer International Publishing, 2019. P. 137–154.
5. 4D printing and stimuli-responsive materials in biomedical aspects / Y. S. Lui, W. T. Sow, L. P. Tan, Y. Wu, Y. Lai, H. Li. *Acta biomaterialia*. 2019. Vol. 92. P. 19–36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2019.05.005>

6. Advanced Functional Fiber and Smart Textile / Q. Shi, J. Sun, C. Hou, Y. Li, Q. Zhang, H. Wang. *Advanced Fiber Materials*. 2019. No. 1. P. 3–31. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42765-019-0002-z>
7. Arruda L. M., Carvalho H. 3D Printing as a Design Tool for Wearables: Case Study of a Printed Glove. *International Conference on Innovation, Engineering and Entrepreneurship. HELIX 2018* / edited by J. Machado, F. Soares, G. Veiga. Cham : Springer, 2018. P. 192–198. (Lecture Notes in Electrical Engineering ; volume 505). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91334-6_27
8. Attaran M. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*. 2017. Vol. 60, issue 5. P. 677–688. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>
9. Bloomfield M., Borstrock Sh. Modeclix. The additively manufactured adaptable textile. *Materials Today Communications*. 2018. Vol. 16. P. 212–216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2018.04.002>
10. Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints / M. K. Thompson, G. Moroni, T. Vaneker, G. Fadel, R. I. Campbell, I. Gibson, A. Bernard, J. Schulz, P. Graf, B. Ahuja, F. Martina. *CIRP Annals*. 2016. Vol. 65, issue 2. P. 737–760. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.05.004>
11. Dilberoglu U., Gharehpapagh B., Yaman U., Dolen M. The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. 2017. Vol. 11. P. 545–554. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.148>
12. Ding H., Zhang X., Liu Y., Ramakrishna S. Review of mechanisms and deformation behaviors in 4D printing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019. Vol. 105, issue 11. P. 4633–4649. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03871-3>
13. Fafenrot S., Korger M., Ehrmann A. Mechanical properties of composites from textiles and three-dimensional printed materials. *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*. Sawston, Cambridge : Woodhead Publishing. 2019. P. 409–425. (Series in Composites Science and Engineering). DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00020-5>
14. Kim S., Seong H., Her Yu., Chun J. A study of the development and improvement of fashion products using a FDM type 3D printer. *Fashion and Textiles*. 2019. № 6(1). 24 p. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40691-018-0162-0>
15. Lyu J., Hahn K., Sadachar A. Understanding millennial consumer's adoption of 3D printed fashion products by exploring personal values and innovativeness. *Fashion and Textiles*. 2018. Vol. 5(1). DOI: <https://doi.org/10.1186/s40691-017-0119-8>
16. Milošević P., Bogović S. 3D Technologies in Individualized Chest Protector Modelling. *Textile & Leather Review*. 2018. Issue 1(2). P. 46–55. DOI: <https://doi.org/10.31881/TLR.2018.vol1.iss2.p46-55.a6>
17. Nam B., Berman A., Garcia B., Chu Sh. Towards the Meaningful 3D-Printed Object: Understanding the Materiality of 3D Prints. *Design, User Experience, and Usability. Practice and Case Studies. HCI 2019 : International Conference on Human-Computer Interaction* / edited by A. Marcus, W. Wang. Cham : Springer, 2019. P. 533–552. (Lecture Notes in Computer Science ; vol. 11586). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23535-2_39
18. Pasricha A., Greeninger R. Exploration of 3D printing to create zero-waste sustainable fashion notions and jewelry. *Fashion and Textiles*. 2018. Vol. 5(1). 30 p. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40691-018-0152-2>
19. Schmelzeisen D., Koch H., Pastore C., Gries T. 4D textiles: hybrid textile structures that can change structural form with time by 3D printing. *Narrow and Smart Textiles*. Cham : Springer, 2018. P. 189–201. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-69050-6_17
20. Shahrubudin N., Lee C., Ramlan R. An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. *Procedia Manufacturing*. 2019. Vol. 35. P. 1286–1296. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>
21. Sheikh J. A., Waheed M. F., Khalid A. M., Qureshi I. A. Use of 3D Printing and Nano Materials in Fashion: From Revolution to Evolution. *Advances in Design for Inclusion. AHFE 2019 : International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* / edited by G. Di Bucchianico. Cham: Springer, 2019. P. 422–429. (Advances in Intelligent Systems and Computing ; vol. 954). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-20444-0_43
22. Verlan V., Irovan M. Applications of 3D printing technologies in the Garment industry. *ARTTE (Applied Researches in Technics, Technologies and Education)*. 2018. Vol. 6, no. 2. P. 104–107. DOI: [10.15547/artte.2018.02.005](https://doi.org/10.15547/artte.2018.02.005)
23. Zhong W., Pan N. Developments in clothing protection technology. *Functional Textiles for Improved Performance, Protection and Health* / edited by W. Zhong., N. Pan. Sawston, Cambridge : Woodhead Publishing, 2011. P. 269–290. DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857092878.269>

References:

1. Androshchuk, H. (2017). Adytyvni tekhnolohii: perspektyvy i problemy 3D-druku [Additive technology: prospects and challenges 3D-print]. *Nauka, tekhnolohii, innovatsii — Science, technologies, innovations, 1*, 68–77. (In Ukrainian).
2. Zozulia, P. F., Polishchuk, O. S. & Polishchuk, A. O. (2017). Perspektyvy zastosuvannya tekhnolohii 3d-druku v lehkii promyslovosti [Perspectives for the use of 3d-print technology in the light industry]. *Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences, 4*, 102–104. (In Ukrainian).
3. Shakhmatova, Yu. D., Getmantseva, V. V., Andreeva, E. G. (2018). Ispolzovanie additivnykh tekhnologii v proizvodstve odezhdy [Use of additive technologies in clothing production]. *Innovatsionnoe razvitie legkoi i tekstilnoi promyshlennosti — Innovative development of the light and textile industry (INTEKS-2018)*. Proceedings of All-Russian Scientific student conference. Part 2. (2018, April 17–19) (pp. 239–242). Moscow : FGBOU VShch “RGU im. A. N. Kosygina”. (In Russian).
4. McCormick, H., Zhang, R., Boardman, R., Jones, C. & Henninger, C. E. (2020). 3D-Printing in the Fashion Industry: A Fad or the Future? In G. Vignali, L. F. Reid, D. Ryding, C. E. Henninger (Eds.). *Technology-Driven Sustainability* (pp. 137–154). Cham: Palgrave Macmillan.
5. Lui, Y. S., Sow, W. T., Tan, L. P., Wu, Y., Lai, Y. & Li, H. (2019). 4D printing and stimuli-responsive materials in biomedical aspects. *Acta biomaterialia, 92*, 19–36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2019.05.005>
6. Shi, Q., Sun, J., Hou, C., Li, Y., Zhang, Q. & Wang, H. (2019). Advanced Functional Fiber and Smart Textile. *Advanced Fiber Materials, 1*, 3–31. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42765-019-0002-z>
7. Arruda, L. M. & Carvalho, H. (2018). 3D Printing as a Design Tool for Wearables: Case Study of a Printed Glove. In J. Machado, F. Soares, G. Veiga (Eds.). *Innovation, Engineering and Entrepreneurship. HELIX 2018*. Proceedings of International Conference (pp. 192–198). Cham, Switzerland: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91334-6_27
8. Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons, 60*(5), 677–688. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>
9. Bloomfield, M. & Borstrock, Sh. (2018). Modeclix. The additively manufactured adaptable textile. *Materials Today Communications, 16*, 212–216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2018.04.002>
10. Thompson, M. K., Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, R. I., Gibson, I., Bernard, A., Schulz, J., Graf, P., Ahuja, B. & Martina, F. (2016). Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and

- constraints. *CIRP Annals*, 65(2), 737–760. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.05.004>
11. Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U. & Dolen, M. (2017). The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 545–554. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.148>
12. Ding, H., Zhang, X., Liu, Y. & Ramakrishna, S. (2019). Review of mechanisms and deformation behaviors in 4D printing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(11), 4633–4649. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03871-3>
13. Fafenrot, S., Korger, M. & Ehrmann, A. (2019). Mechanical properties of composites from textiles and three-dimensional printed materials. *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites* (pp. 409–425) Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00020-5>
14. Kim, S., Seong, H., Her, Yu. & Chun, J. (2019). A study of the development and improvement of fashion products using a FDM type 3D printer. *Fashion and Textiles*, 6(1), 9. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40691-018-0162-0>
15. Lyu, J., Hahn, K. & Sadachar, A. (2018). Understanding millennial consumer's adoption of 3D printed fashion products by exploring personal values and innovativeness. *Fashion and Textiles*, 5(1), 11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40691-017-0119-8>
16. Milošević, P. & Bogović, S. (2018). 3D Technologies in Individualized Chest Protector Modelling. *Textile & Leather Review*, 1(2), 46–55. DOI: <https://doi.org/10.31881/TLR.2018.vol1.iss2.p46-55.a6>
17. Nam, B., Berman, A., Garcia, B. & Chu, Sh. (2019). Towards the Meaningful 3D-Printed Object: Understanding the Materiality of 3D Prints. In A. Marcus, W. Wang (Ed.). *HCII 2019. International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 533–552). Cham: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23535-2_39
18. Pasricha, A. & Greeninger, R. (2018). Exploration of 3D printing to create zero-waste sustainable fashion notions and jewelry. *Fashion and Textiles*, 5(1), 30. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40691-018-0152-2>
19. Schmelzeisen, D., Koch, H., Pastore, C. & Gries, T. (2018). 4D textiles: hybrid textile structures that can change structural form with time by 3D printing. *Narrow and Smart Textiles* (pp. 189–201). Cham: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-69050-6_17
20. Shahrubudin, N., Lee, T. C. & Ramlan, R. (2019). An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. *Procedia Manufacturing*, 35, 1286–1296. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>
21. Sheikh, J. A., Waheed, M. F., Khalid, A. M. & Qureshi, I. A. (2019). Use of 3D Printing and Nano Materials in Fashion: From Revolution to Evolution. In G. Di Bucchianico (Ed.). *AHFE 2019. Proceedings of International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 422–429). Cham: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-20444-0_43
22. Verlan, V. & Irovan, M. (2018). Applications of 3D printing technologies in the Garment industry. *ARTTE*, 6(2), 104–107. DOI: 10.15547/artte.2018.02.005
23. Zhong, W. & Pan, N. (2011). Developments in clothing protection technology. In W. Zhong, N. Pan (Eds.). *Functional Textiles for Improved Performance, Protection and Health* (pp. 269–290). Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857092878.269>

Рецензент: Попова Т. І., кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри технологій і дизайну,
Українська інженерно-педагогічна академія

Стаття надійшла до редакції 17.11.2019