

УДК 004.89

DOI 10.47367/0021-3497\_2024\_5\_5

**НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА  
В ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE LIGHT INDUSTRY**

*Е.В. РУМЯНЦЕВ<sup>1</sup>, В.Е. РУМЯНЦЕВА<sup>2,3</sup>, В.С. КОНОВАЛОВА<sup>2</sup>, Д.А. МИРОШНИЧЕНКО<sup>2</sup>*

*E.V. RUMYANTSEV<sup>1</sup>, V.E. RUMYANTSEVA<sup>2,3</sup>, V.S. KONOVALOVA<sup>2</sup>, D.A. MIROSHNICHENKO<sup>2</sup>*

<sup>(1</sup>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,

<sup>2</sup>Ивановский государственный политехнический университет,

<sup>3</sup>Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России)

<sup>(1</sup>D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

<sup>2</sup>Ivanovo State Polytechnic University,

<sup>3</sup>Ivanovo Fire and Rescue Academy

of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense)

E-mail: naturer@yandex.ru, varrym@gmail.com, kotprotiv@yandex.ru, tlp\_pti@ivgpu.ru

*В статье рассмотрены возможности использования технологий искусственного интеллекта в текстильной и швейной промышленности. Показано, что искусственный интеллект может подобрать ткани для пошива в соответствии с необходимыми эксплуатационными характеристиками, назначением и видом изделия, помочь разработать новые модели одежды в соответствии с задуманным дизайном. Применение искусственного интеллекта при оптимизации процессов раскроя швейных изделий обеспечивает снижение количества межлекальных выпадов, трудоемкости раскроя и таким образом уменьшает себестоимость продукции. Отражены общие для всей легкой промышленности способы применения искусственного интеллекта в следующих направлениях: генерация новых дизайнерских решений, визуализация изделий в трехмерной и двухмерной среде; организация производства и контроль технологических процессов; оценка качества; ритейл и безопасность окружающей среды. Анализ различных литературных источников доказал применимость искусственного интеллекта и систем на его основе на всех этапах жизненного цикла изделий как в текстильной, так и в швейной промышленности.*

*The article considers the possibilities of using artificial intelligence technologies in the textile and clothing industry. It has been shown that artificial intelligence can select fabrics for sewing in accordance with the necessary performance characteristics, purpose and type of product, and help develop new clothing models in accordance with the intended design. The use of artificial intelligence in optimizing the*

*cutting processes of sewing products ensures a reduction in the number of interlocking attacks, the complexity of cutting and thus reduces the cost of production. The ways of using artificial intelligence common to the entire light industry are reflected in such areas as: generation of new design solutions, visualization of products in a three-dimensional and two-dimensional environment; organization of production and control of technological processes; quality assessment; retail and environmental safety. The analysis of various literary sources has proved the applicability of artificial intelligence and systems based on it at all stages of the life cycle of products, both in the textile and clothing industries.*

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, текстильная промышленность, дизайн одежды, автоматизация, контроль качества, оптимизация производства.

**Keywords:** artificial intelligence, textile industry, clothing design, quality control, process automation, production optimization.

### *Введение*

Искусственный интеллект (ИИ) определяется как имитация или применение человеческого интеллекта программным обеспечением для выполнения конкретных задач. Слово «искусственный» означает, что программы или компьютерное программное обеспечение созданы людьми для реализации «интеллекта», подобного человеческому. Интеллект здесь обычно относится к возможности программ или систем воспринимать, понимать и извлекать информацию для решения проблем и выполнения задач.

Искусственный интеллект позволяет организациям и исследователям принимать обоснованные решения, расширяет возможности системы поддержки принятия решений.

С внедрением промышленной автоматизации на предприятиях текстильной и легкой промышленности осуществляется накопление данных и обеспечивается доступ к оперативным данным в реальном времени, что позволяет использовать искусственный интеллект для повышения эффективности производства и расширения возможностей сотрудников.

Внедрение систем искусственного интеллекта в текстильной промышленности все еще находится на ранней стадии, хотя существует много вариантов применения ИИ.

Целью данного исследования является систематизация направлений применения

искусственного интеллекта в текстильной промышленности.

### *Искусственный интеллект в дизайне одежды*

Генеративно-сопоставительные сети (Generative adversarial network, GAN) – это тип искусственного интеллекта, который может создавать новые конструкции, обучаясь на имеющихся данных. Загрузив в такую нейросеть базу изображений с описанием их параметров (цвет, стилистика и т. д.), можно генерировать новые изображения с похожими или отличающимися признаками [1]. В 2023 году торговая марка Gloria Jeans представила коллекцию одежды, созданную при участии нейросети. Искусственный интеллект не только разработал эскизы изделий, но и подобрал ткани и фурнитуру. Инструмент AiDA (от англ. AI-based Interactive Design Assistant – интерактивный помощник по дизайну на основе искусственного интеллекта) использовался для создания коллекции, представленной на показе «Fashion X AI» в Гонконге в 2022 году. Этот инструмент создан в Лаборатории искусственного интеллекта в дизайне (AidLab) на базе Британского Королевского колледжа искусств (RCA) и Гонконгского политехнического университета.

Российская компания Kanzler представила на рынке коллекцию футболок, дизайн которых был сгенерирован нейросетью по текстовому описанию.

Ученые университета Аристотеля (г. Салоники, Греция) предлагают интеллектуальную систему поддержки принятия решений для модельеров. Эта система может выступать в роли личного помощника, извлекая, систематизируя и объединяя данные из многих источников и предлагая различные варианты дизайна одежды с учетом предпочтений дизайнера [2].

Исследователи из РГУ им. Косыгина показали эффективность применения сверхточных нейронных сетей для анализа изображений и фотографий одежды, одетой на фигуру человека, в том числе для определения стиливого решения или поиска предметов одежды, сочетающихся друг с другом по заданным признакам [3].

С помощью ИИ 3D-модели одежды можно «примерить» на виртуальный силуэт, что позволяет оценить внешний вид изделия и соответствие размерному ряду [4, 5]. Программисты Сибирского технологического университета разработали сервис Sarafan.AI – проект на базе искусственного интеллекта, который распознает на фотоснимках предметы гардероба, после чего находит их аналоги в интернет-магазинах. В основе сервиса лежит поведенческая модель пользователей медийных сайтов, которые просматривают фотографии в поисках подходящих для себя образцов одежды. Многие пользователи, например, хотят выглядеть так же стильно, как светские знаменитости, запечатленные фотографами, однако не знают, где можно приобрести аналогичные или похожие наряды. Поскольку у таких пользователей потребление медиаконтента и шопинг психологически связаны, переход со страниц онлайн-журнала в каталог интернет-магазина является для них естественным [6].

Применение искусственного интеллекта может помочь швейным предприятиям анализировать большие объемы данных о спросе на ассортимент и прогнозировать потребительские тенденции [7, 8]. Это помогает создавать продукты, ориентированные на конкретные целевые рынки, и принимать обоснованные решения по управлению запасами и стратегиям ценообразования.

*Системы искусственного интеллекта в процессах проектирования и изготовления швейных изделий*

Инструменты на базе искусственного интеллекта могут помочь при разработке новых швейных изделий, например, при выборе оптимального материала для изготовления изделия из большого количества существующих в настоящее время вариантов. В работе [9] рассмотрено, как методы искусственного интеллекта могут помочь выбрать наиболее подходящий материал с учетом его свойств и поведения при эксплуатации.

Учеными из Чикагского и Филадельфийского университетов (США) разработана гибридная модель на основе искусственного интеллекта, позволяющая понять человеческое восприятие тактильных свойств текстильных материалов и создать объективную систему для выражения этого тактильного восприятия с точки зрения измеряемых показателей физико-механических свойств. В систему заложено несколько десятков параметров, влияющих на воспринимаемые ощущения [10]. Эта разработка поможет прогнозировать уровень комфорта одежды технологам на стадии ее проектирования, а покупателям – при выборе изделия в онлайн-магазине.

Составление технологических карт раскроя или операций пошива швейного изделия может быть автоматизировано с применением систем ИИ. С его помощью можно прописать ключевые слова, которые программа будет распознавать в описании модели и предлагать операции из заложенных в базу технологических карт. Такая система может упростить задачи технолога, ему останется только проверить предложенную ИИ готовую технологическую карту на наличие несоответствий и ошибок и внести необходимые корректировки [11].

Опыт применения ИИ при планировании процессов настила и раскроя тканей представлен в работе [12]. В целях экономии материальных затрат раскрой должен выполняться с минимальными межлекальными выпадами. Для снижения производственных затрат следует свести к мини-

муму число различных настилов и обеспечить максимальное количество слоев в одном настиле. Ученые предлагают алгоритм, который создает набор раскладок лекал всех размероростов и вариантов их комплектования, затем запускается цикл оптимизации, в ходе которого ИИ пытается выбрать наиболее экономичные раскладки из этого набора и рассчитать возможность раскроя всех размероростов в соответствии с их требуемым количеством при наименьшем наборе раскладок. Таким образом определяется наиболее эффективная схема настиления и раскроя.

ИИ можно также использовать для компоновки машин и аппаратов в технологические линии, составления схемы разделения труда: комплектования технологически неделимых операций в организационные (производственные) и распределения их по рабочим местам швейного потока [13, 14], контроля ритмичности производства, разработки графика загрузки отдельных потоков [15]. С использованием ИИ можно количественно определить вероятность выхода оборудования из строя и установить оптимальные сроки профилактического обслуживания оборудования [16, 17].

Программы с применением искусственного интеллекта используются для обучения и подготовки персонала текстильных и швейных производств [18].

*Искусственный интеллект в производстве текстильных материалов*

С помощью искусственного интеллекта можно прогнозировать свойства ткани перед ее производством, используя информацию о пряже и характеристиках ткани. В работе [19] представлен новый подход к использованию машинного обучения для прогнозирования свойств тканых материалов на основе данных об особенностях их строения и отделки. Система позволяет рассчитывать девять физических свойств текстильных материалов, таких как истирание, эластичность, пиллингуемость и пр., что обеспечивает возможность принятия обоснованного решения при выборе оптимальных режимов обработки материала.

Высокую эффективность показало применение систем ИИ на различных этапах

производства текстильных материалов. Так, например, нейросети могут моделировать свойства красителей и прогнозировать качество окрашивания материалов различной природы по заданным параметрам процесса [20...22].

Учеными из Бразилии исследовано влияние основных переменных процесса крашения тканей на интенсивность окрашивания [23]. На вход нейросети подавались такие данные, как температура красящего раствора, время обработки, концентрация NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaOH, RB5 (синий краситель). На выходе система предлагает оптимизированные значения всех параметров, позволяющих получить набор цветов синей палитры с использованием красителя RB5 в диапазоне от небесно-голубого до оксфордского синего. Таким образом, ИИ позволяет повысить эффективность процесса крашения, экономя химические вещества и время при окрашивании хлопка конкретными красителями.

Технология с использованием искусственного интеллекта для предсказания спектральных свойств будущих красителей разработана командой ученых из Ивановского государственного химико-технологического университета и Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН [21]. Предложен удобный инструмент для прогнозирования значения молярного коэффициента поглощения для широкого числа красителей с точностью 0,26 логарифмической единицы. Такая точность достигнута за счет того, что модель обучалась на данных более чем 20 000 уникальных молекул красителя.

*Искусственный интеллект для контроля качества сырья и продукции на всех этапах производства*

Опубликованы научные работы по использованию технологии распознавания изображений в текстильной промышленности для оценки внешнего вида пряжи, проверки наличия дефектов ткани, установления состава материала [24, 25]. Программно-аппаратные комплексы с применением ИИ могут выполнить распознавание брака быстрее, с гораздо большей точностью и без влияния человеческого фактора [26].

Разработаны технологии для выявления соответствия цвета тканей и пряжи после крашения исходным требованиям [27, 28]. Компания СНАТМЕ.АІ совместно с партнером Fast.АІ разработала платформу, включающую компьютерное зрение и методы машинного обучения, для поиска и согласования точного цвета дизайна для готового изделия. Для обучения ИИ эксперт по текстилю сначала визуально проверяет все изготовленные пробные партии, затем операторы вводят измерения цвета и допуски для всех партий в программное обеспечение. После этого систему ИИ тестируют на новых партиях, обучая ее определять, какие образцы подходят, а какие нет.

Учеными из Ивановского Политеха совместно с коллегами из СПбПУ, НИУ «Высшая школа экономики» и ООО «Визиум-Текс» разработан программно-аппаратный комплекс, включающий технологию ИИ, для автоматизированного определения брака на тканях [29]. Система предполагает не только обнаружение дефекта ткани, но и определение его названия и вида технологического процесса, на котором он может возникать. Данный комплекс можно установить на различное текстильное оборудование в зависимости от того, на каком технологическом этапе производства ткани необходим контроль качества продукции [30, 31].

Предложена система Cognex ViDi, которая может автоматически проверять переплетение, схему вязания или технического плетения текстильного материала [27]. Для этого ее нужно обучить, используя заданные изображения нескольких сотен «хороших» и «плохих» образцов. Система на основе этих изображений изучает схему плетения, внешний вид пряжи, цвета и допустимые дефекты, после чего может обнаруживать дефекты (например, сбой в переплетении) в готовом изделии.

ИИ позволяет устанавливать различные виды дефектов посадки, несоответствие размеров готовых швейных изделий [32]. Например, программное обеспечение GarmentScanner бесконтактно по изображению определяет габаритные размеры одежды, сравнивает их с заданными пара-

метрами, проверяет изделие на симметричность, оценивает качество швов [33].

*Искусственный интеллект для повышения экологичности текстильных производств*

Текстильные предприятия, особенно те, которые занимаются отделкой, являются основными потребителями воды и источником значительного загрязнения окружающей среды.

Учеными разработаны системы на основе ИИ, которые прогнозируют количество сточных вод для различных объемов производства и состава технологических линий [34, 35], определяют расход реагентов для нейтрализации загрязняющих компонентов [36, 37], подбирают оптимальные методы и режимы очистки стоков [38, 39].

Для преодоления недостатков традиционных технологий очистки воды и сточных вод разработан метод электрокоагуляции, который обеспечивает очистку без использования дополнительных химических веществ и, следовательно, вторичного загрязнения. Из-за сложности реакций в системах электрокоагуляции очень трудно определить кинетические параметры различных этапов, что приводит к неопределенности в проектировании и масштабировании промышленных химических реакторов. Кинетическому моделированию процессов электрокоагуляции посвящено мало трудов. Ученые из Тебризского университета Ирана разработали систему на основе ИИ, которая может моделировать процессы электрокоагуляции и описывать поведение сложной реакционной системы в принятых экспериментальных условиях [40, 41].

Исследователи из Гонконгского политехнического университета (Китай) создали модель нейросети, которая используется для оптимизации и моделирования эффективности удаления четырехкомпонентных красителей с помощью новых видов адсорбентов [42, 43].

## В Ы В О Д Ы

Проведенный анализ как отечественных, так зарубежных источников показал, что искусственный интеллект является

драйвером развития текстильной и швейной промышленности, поскольку позволяет повысить производительность, оптимизировать технологические процессы и бизнес-процессы, поддерживать безопасность производства и условий труда, контролировать качество продукции, прогнозировать спрос на товары и многое другое.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Singh M., Bajpai U., Vijayarajan V., Prasath S. Generation of fashionable clothes using generative adversarial networks: A preliminary feasibility study // *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2020. V. 32. N. 2. P. 177...187.
2. Kotouza M.T., Tsarouchis S., Kyprianidis A.C. etc. Towards Fashion Recommendation: An AI System for Clothing Data Retrieval and Analysis // *IFIP Advances in Information and Communication Technology*. 2020. V. 584. P. 433...444.
3. Петросова И.А., Андреева Е.Г., Шунилова Е.А., Гозуев Д.Н. Методика оценки качества посадки одежды на фигуре с помощью искусственного интеллекта // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2024. № 2(410). С. 151.
4. Туханова В.Ю. Проектирование качества швейных изделий с применением искусственного интеллекта // *Костюмология*. 2021. Т. 6, № 2.
5. Liu H. Computer 5G Virtual Reality Environment 3D Clothing Design // *Mobile Information Systems*. 2022, V. 2022.
6. Искусственный интеллект для модниц. – <https://www.if24.ru/iskin-dlya-modnits/> (дата обращения: 15.03.2024)
7. Lorente-Leyva L.L., Alemany M.M.E., Peluffo-Ordóñez D.H., Araujo R.A. Demand Forecasting for Textile Products Using Statistical Analysis and Machine Learning Algorithms // *Lecture Notes in Computer Science*. 2021. V. 12672. P. 181...194.
8. Хачатурян К.С., Пономарева С.В., Корюшов Н.В. Искусственный интеллект в маркетинге как новая концепция и бизнес-возможность для повышения эффективности компаний // *Вестник евразийской науки*. 2023, Т. 15, № 3.
9. Merayo D., Rodríguez-Prieto A., Camacho A.M. Comparative analysis of artificial intelligence techniques for material selection applied to manufacturing in Industry 4.0 // *Procedia Manufacturing*. 2019. V. 41. P. 42...49.
10. Karthikeyan B., Sztandera L.M. Analysis of tactile perceptions of textile materials using artificial intelligence techniques: Part 1: forward engineering // *International Journal of Clothing Science and Technology*. – 2010, V. 22, N. 2/3. P. 187...201.
11. Климова А.Д. Трансформация производств легкой промышленности в связи с переходом к цифровой экономике // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2022. Т. 24, № 2. С. 42...47.
12. Shang X., Shen D., Wang F.-Y., Nyberg T.R. A Heuristic Algorithm for the Fabric Spreading and Cutting Problem in Apparel Factories // *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. 2019, V. 6, N. 4. P. 961...968.
13. He Z., Xu J., Tran K.P. etc. Modeling of textile manufacturing processes using intelligent techniques: a review // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021, V. 116. P. 39...67.
14. Özden K., Tahsin A. Line Balancing Based on Error Rate Estimation with Artificial Neural Networks in Assembly Line Operations // *Istanbul Gelisim University Journal of Social Sciences*. 2023, V. 10, Issue 1. P. 16...32.
15. Cioffi R., Travaglioni M., Piscitelli G., Petrillo A., De Felice F. Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Smart Production: Progress, Trends, and Directions // *Sustainability*. 2020, V. 12, Issue 2. Article no. 492.
16. Салихов М.Р., Юрьева Р.А. Алгоритм прогнозирования состояния оборудования на основе машинного обучения // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2022. Т. 65, № 9. С. 648...655.
17. Çınar Z.M., Abdussalam Nuhu A., Zeeshan Q. etc. Machine Learning in Predictive Maintenance towards Sustainable Smart Manufacturing in Industry 4.0 // *Sustainability*. 2020, V. 12, Issue 19.
18. El-Nahass M. The Impact of Augmented Reality on Fashion and Textile Design Education // *International Design Journal*. 2021. V. 11, N. 6. P. 44...55.
19. Ribeiro R., Pilastrri A., Moura C. etc. Predicting Physical Properties of Woven Fabrics via Automated Machine Learning and Textile Design and Finishing Features // *IFIP Advances in Information and Communication Technology*. 2020, V. 584. P. 244...255.
20. Vadood M., Haji A. A hybrid artificial intelligence model to predict the color coordinates of polyester fabric dyed with madder natural dye // *Expert Systems with Applications*. 2022, V. 193.
21. Ksenofontov A.A., Lukanov M.M., Bocharov P.S. Can machine learning methods accurately predict the molar absorption coefficient of different classes of dyes? // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2022. V. 279.
22. Subhopoto A.N., Akar M., Sultanoglu S. A New Classification Method for Predicting the Output of Dye Process in Textile Industry by Using Artificial Neural Networks // *Lecture Notes in Computer Science*. 2019. V. 11507. P. 687...698.
23. Rosa J.M., Guerhardt F., Ribeiro Júnior S.E.R. etc. Modeling and optimization of reactive cotton dyeing using response surface methodology combined with artificial neural network and particle swarm techniques // *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2021. V. 23. P. 2357...2367.
24. Силаков А.В., Варламова С.А., Котков П.В. Программное распознавание дефектов изображений регулярных текстур в текстильной промышленности //

Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2 (398). С. 266...272.

25. Sorokina V., Ablameyko S. Automatic Determination of Fabric Composition of Clothing in E-Commerce Images // Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering. 2023, V. 8, Issue 2.

26. Ержанова М.Е., Сугурова Л.А., Джанузатова Р.Ж. и др. Искусственный интеллект в производстве и текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2020. № 2 (386). С. 150...153.

27. Зоидов К.Х., Урунов А.А., Акрамов Б.А. Искусственный интеллект: возможности применения для контроля качества готовой продукции в текстильной промышленности // Региональные проблемы преобразования экономики. 2021. № 2. С. 12...22.

28. Raabe D., Mianroodi J.R., Neugebauer J. Accelerating the design of compositionally complex materials via physics-informed artificial intelligence // Nature Computational Science. 2023, V. 3. P. 198...209.

29. Miroshnichenko D., Kareva T., Tolubeeva G. etc. Program for visual representation of defects in the appearance of textile materials with different types of surface design // AIP Conference Proceedings. 2022, V. 2430.

30. Карева Т.Ю., Мирошниченко Д.А., Толубеева Г.И. и др. Поиск путей совершенствования цифрового представления текстильных материалов с целью обнаружения дефектов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2 (398). С. 104...108.

31. Мирошниченко Д.А., Карева Т.Ю. Разработка базы дефектов внешнего вида тканых материалов для обучения нейронной сети // Наука – Технологии – Производство: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. СПб., 2021. С. 44...45.

32. Ersöz T., Zahoor H., Ersöz F. Fabric and production defect detection in the apparel industry using data mining algorithms // International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry. 2021. V. 5. N. 3. P. 742...757.

33. Белгородский В.С., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Рогожина Ю.В. Искусственный интеллект в оценке качества готовой швейной продукции // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2 (398). С. 168...177.

34. Lin W., Hanyue Y., Bin L. Prediction of wastewater treatment system based on deep learning // Frontiers in Ecology and Evolution. 2022, V. 10.

35. Mohan V.G., Ali A.F.M., Vijayan B.L., Amedeen M.A. A Survey on Artificial Intelligence Techniques for Various Wastewater Treatment Processes // Journal of Engineering and Technology. 2023, V. 14, N. 1. P. 29...40.

36. Мурачев Е.Г., Холодов Г.М., Солопова О.И. Методика построения системы управления технологическим процессом биологической очистки сточных вод на основе гибридных нейронных сетей // Известия Московского государственного техни-

ческого университета МАМИ. 2009. № 2 (8). С. 231...241.

37. Choi D.-J., Park H. A hybrid artificial neural network as a software sensor for optimal control of a wastewater treatment process // Water Research. 2001, V. 35, Issue 16. P. 3959...3967.

38. Ye Z., Yang J., Zhong N. etc. Tackling environmental challenges in pollution controls using artificial intelligence: A review // Science of the total environment. 2020, V. 699.

39. Ismail W., Niknejad N., Bahari M. etc. Water treatment and artificial intelligence techniques: a systematic literature review research // Environmental Science and Pollution Research. 2023, V. 30. P. 71794...71812.

40. Singh N.D., Murugamani C., Kshirsagar P.R. etc. IOT Based Smart Wastewater Treatment Model for Industry 4.0 Using Artificial Intelligence // Scientific Programming. 2022, V. 2022.

41. Liu S., Lo C.K.Y., Kan C.-W. Application of artificial intelligence techniques in textile wastewater decolorisation fields: A systematic and citation network analysis review // Coloration Technology. 2022, V. 138, Issue 2. P. 117...136.

42. Lee W., Choi H.K., Sajadieh S.M.M. etc. Prediction of Residual Dye Using Machine Learning Algorithms for an Eco-Friendly Dyeing Process // IFIP Advances in Information and Communication Technology. 2023, V. 691. P. 491...505.

43. Daneshvar N., Khataee A.R., Djafarzadeh N. The use of artificial neural networks (ANN) for modeling of decolorization of textile dye solution containing C. I. Basic Yellow 28 by electrocoagulation process // Journal of Hazardous Materials. 2006. V. 137, Issue 3. P. 1788...1795.

## REFERENCES

1. Singh M., Bajpai U., Vijayarajan V., Prasad S. Generation of fashionable clothes using generative adversarial networks: A preliminary feasibility study // International Journal of Clothing Science and Technology. 2020, V. 32, N. 2. P. 177...187.

2. Kotouza M.T., Tsarouchis S., Kyprianidis A.C. etc. Towards Fashion Recommendation: An AI System for Clothing Data Retrieval and Analysis // IFIP Advances in Information and Communication Technology. 2020, V. 584. P. 433...444.

3. Petrosova I.A., Andreeva E.G., Shipilova E.A., Goguzev D.N. Method for assessing the quality of clothes fit on the figure using artificial intelligence // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. № 2 (410). P. 151.

4. Trukhanova V.Yu. Designing the quality of sewing products using artificial intelligence // Costumology. 2021, V. 6. N. 2.

5. Liu H. Computer 5G Virtual Reality Environment 3D Clothing Design // Mobile Information Systems. 2022, V. 2022.

6. Artificial intelligence for fashionistas. – <https://www.if24.ru/iskin-dlya-modnits/> (date of publication: 03/15/2024)
7. Lorente-Leyva L.L., Alemany M.M.E., Peluffo-Ordóñez D.H., Araujo R.A. Demand Forecasting for Textile Products Using Statistical Analysis and Machine Learning Algorithms // *Lecture Notes in Computer Science*. 2021, V. 12672. P. 181...194.
8. Khachatryan K.S., Ponomareva S.V., Koriushov N.V. Artificial intelligence in marketing as a new concept and business opportunity to improve the efficiency of companies // *The Eurasian Scientific Journal*. 2023, V. 15, N. 3.
9. Merayo D., Rodríguez-Prieto A., Camacho A.M. Comparative analysis of artificial intelligence techniques for material selection applied to manufacturing in Industry 4.0 // *Procedia Manufacturing*. 2019, V. 41. P. 42...49.
10. Karthikeyan B., Sztandera L.M. Analysis of tactile perceptions of textile materials using artificial intelligence techniques: Part 1: forward engineering // *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2010, V. 22, N. 2/3. P. 187...201.
11. Kilimova A.D. Transformation of light industry production in connection with the transition to the digital economy // *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2022, V. 24, N. 2. P. 42...47.
12. Shang X., Shen D., Wang F.-Y., Nyberg T.R. A Heuristic Algorithm for the Fabric Spreading and Cutting Problem in Apparel Factories // *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. 2019, V. 6, N. 4. P. 961...968.
13. He Z., Xu J., Tran K.P. *etc.* Modeling of textile manufacturing processes using intelligent techniques: a review // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021, V. 116. P. 39...67.
14. Özden K., Tahsin A. Line Balancing Based on Error Rate Estimation with Artificial Neural Networks in Assembly Line Operations // *Istanbul Gelisim University Journal of Social Sciences*. 2023, V. 10, Issue 1. P. 16...32.
15. Cioffi R., Travagliani M., Piscitelli G. *etc.* Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Smart Production: Progress, Trends, and Directions // *Sustainability*. 2020, V. 12, Issue 2.
16. Salikhov M.R., Yurieva R.A. Algorithm for predicting the state of equipment based on machine learning // *Journal of Instrument Engineering*. 2022, V. 65, N. 9. P. 648...655.
17. Çınar Z.M., Abdussalam Nuhu A., Zeeshan Q. *etc.* Machine Learning in Predictive Maintenance towards Sustainable Smart Manufacturing in Industry 4.0 // *Sustainability*. 2020, V. 12, Issue 19.
18. El-Nahass M. The Impact of Augmented Reality on Fashion and Textile Design Education // *International Design Journal*. 2021, V. 11, N. 6. P. 44...55
19. Ribeiro R., Pilastrri A., Moura C. *etc.* Predicting Physical Properties of Woven Fabrics via Automated Machine Learning and Textile Design and Finishing Features // *IFIP Advances in Information and Communication Technology*. 2020, V. 584. P. 244...255.
20. Vadood M., Haji A. A hybrid artificial intelligence model to predict the color coordinates of polyester fabric dyed with madder natural dye // *Expert Systems with Applications*. 2022, V. 193.
21. Ksenofontov A.A., Lukanov M.M., Bocharov P.S. Can machine learning methods accurately predict the molar absorption coefficient of different classes of dyes? // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2022, V. 279.
22. Subhopoto A.N., Akar M., Sultanoglu S. A New Classification Method for Predicting the Output of Dye Process in Textile Industry by Using Artificial Neural Networks // *Lecture Notes in Computer Science*. 2019, V. 11507. P. 687...698.
23. Rosa J.M., Guerhardt F., Ribeiro Júnior S.E.R. *etc.* Modeling and optimization of reactive cotton dyeing using response surface methodology combined with artificial neural network and particle swarm techniques // *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2021, V. 23. P. 2357...2367.
24. Silakov A.V., Varlamova S.A., Kotkov P.V. Software recognition of image defects of regular textures in the textile industry // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022, № 2 (398). P. 266...272.
25. Sorokina V., Ablameyko S. Automatic Determination of Fabric Composition of Clothing in E-Commerce Images // *Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering*. 2023, V. 8, Issue 2.
26. Yerzhanova M.E., Sugurova L.A., Dzhanuzakova R.Zh. *etc.* Artificial intelligence in production and textile industry // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2020, № 2 (386). P. 150...153.
27. Zoidov K.K., Urunov A.A., Akramov B.A. Artificial intelligence: application possibilities for quality control of finished products in the textile industry // *Regional problems of transforming the economy*. 2021, N. 2. P. 12...22.
28. Raabe D., Mianroodi J.R., Neugebauer J. Accelerating the design of compositionally complex materials via physics-informed artificial intelligence // *Nature Computational Science*. 2023, V. 3. P. 198...209.
29. Miroshnichenko D., Kareva T., Tolubeeva G. *etc.* Program for visual representation of defects in the appearance of textile materials with different types of surface design // *AIP Conference Proceedings*. 2022, V. 2430.
30. Kareva T.Yu., Miroshnichenko D.A., Tolubeeva G.I. *etc.* Finding ways to improve the digital presentation of textile materials for detecting defects // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022, № 2 (398) P. 104...108.
31. Miroshnichenko D.A., Kareva T.Y. Development of a database of defects in the appearance of woven materials for training a neural network // *Science – Technology – Production*. St. Petersburg, 2021. P. 44...45.
32. Ersöz T., Zahoor H., Ersöz F. Fabric and production defect detection in the apparel industry using data mining algorithms // *International Journal of 3D*

Printing Technologies and Digital Industry. 2021, V. 5, N. 3. P. 742...757.

33. *Belgorodsky V.S., Guseva M.A., Andreeva E.G., Rogozhina Yu.V.* Artificial intelligence in quality assessment of finished sewing products // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti i.* 2022. № 2 (398). P. 168...177.

34. *Lin W., Hanyue Y., Bin L.* Prediction of wastewater treatment system based on deep learning // *Frontiers in Ecology and Evolution.* 2022, V. 10.

35. *Mohan V.G., Ali A.F.M., Vijayan B.L., Ameen M.A.* A Survey on Artificial Intelligence Techniques for Various Wastewater Treatment Processes // *Journal of Engineering and Technology.* – 2023, V. 14, N. 1. P. 29...40.

36. *Murachev E.G., Kholodov G.M., Solopova O.I.* Methodology for constructing a process control system for biological wastewater treatment based on hybrid neural networks // *Izvestiya MGTU «MAM».* 2009, № 2 (8). P. 231...241.

37. *Choi D.-J., Park H.* A hybrid artificial neural network as a software sensor for optimal control of a wastewater treatment process // *Water Research.* 2001. V. 35, Issue 16. P. 3959...3967.

38. *Ye Z., Yang J., Zhong N. etc.* Tackling environmental challenges in pollution controls using artificial intelligence: A review // *Science of the total environment.* 2020. V. 699.

39. *Ismail W., Niknejad N., Bahari M. etc.* Water treatment and artificial intelligence techniques: a systematic literature review research // *Environmental Science and Pollution Research.* 2023, V. 30. P. 71794...71812.

40. *Singh N.D., Murugamani C., Kshirsagar P.R., etc.* IOT Based Smart Wastewater Treatment Model for Industry 4.0 Using Artificial Intelligence // *Scientific Programming.* 2022, V. 2022.

41. *Liu S., Lo C.K.Y., Kan C.-W.* Application of artificial intelligence techniques in textile wastewater decolorisation fields: A systematic and citation network analysis review // *Coloration Technology.* 2022, V. 138, Issue 2. P. 117...136.

42. *Lee W., Choi H.K., Sajadieh S.M.M. etc.* Prediction of Residual Dye Using Machine Learning Algorithms for an Eco-Friendly Dyeing Process // *IFIP Advances in Information and Communication Technology.* 2023, V. 691. P. 491...505.

43. *Daneshvar N., Khataee A.R., Djafarzadeh N.* The use of artificial neural networks (ANN) for modeling of decolorization of textile dye solution containing C. I. Basic Yellow 28 by electrocoagulation process // *Journal of Hazardous Materials.* 2006, V. 137, Issue 3. P. 1788...1795.

Рекомендована кафедрой естественных наук и техносферной безопасности ИВГПУ. Поступила 30.11.23.