

Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science <https://kostumologiya.ru>

2023, Том 8, № 3 / 2023, Vol. 8, Iss. 3 <https://kostumologiya.ru/issue-3-2023.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/06TLKL323.pdf>

2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Гусева, М. А. Опыт и перспективы цифровой трансформации швейной отрасли / М. А. Гусева, Ю. В. Рогожина // Костюмология. — 2023. — Т. 8. — № 3. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/06TLKL323.pdf>

For citation:

Guseva M.A., Rogozhina Ju.V. Experience and prospects of digital transformation of the garment industry. *Journal of Clothing Science*. 2023; 8(3): 06TLKL323. Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/06TLKL323.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 687

Гусева Марина Анатольевна

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия
Доцент

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: guseva_marina67@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3491-6132>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=829347

Рогожина Юлия Владимировна

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия
Аспирант

E-mail: iulia3008@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1077994

Опыт и перспективы цифровой трансформации швейной отрасли

Аннотация. В статье представлен опыт цифровой трансформации в мировой и отечественной экономиках. Обобщенное понятие «цифровые технологии» объединяет такие IT-продукты, как машинное зрение, искусственный интеллект, дистанционный мониторинг, блокчейн, промышленные роботы и человеко-машинные интерфейсы, цифровые двойники, 3D проектирование и 3D печать. В мировой экономике востребованность в цифровых технологиях ежегодно возрастает, в среднем, на 20 %. Лидерами цифровой трансформации являются экономики США, Китая, Японии, Южной Кореи, Индии, Германии, Франции. Ежегодный прирост технологий умного производства (Smart Manufacturing Market) в экономике стран-цифровых лидеров оценивается аналитиками в 12–14 %, чему способствует усложнение логистических цепочек, сокращение сроков поставок и сбыта, ужесточение контроля качества продукции. Особую роль цифровые лидеры отводят внедрению собственных IT-корпораций в экономику других стран. Поэтому создание российских IT-продуктов для цифровой экономики направлено на обеспечение экономической безопасности государства, особенно в современных условиях изоляции и санкций.

В России цифровая трансформация началась с государственного сектора, в цифровой формат функционирования переводят промышленные предприятия отраслей тяжелого машиностроения, приборостроения, авиастроения, горнодобывающие, фармацевтические заводы, пищевые фабрики. Наиболее востребованы трехмерное проектирование объектов с

использованием цифровых двойников, блокчейн и дистанционный мониторинг с применением машинного зрения, робототехника.

В статье авторами проанализированы итоги текущего этапа цифровизации предприятий швейной отрасли. На современном этапе для цифровой трансформации швейного производства разрабатывают и совершенствуют ИТ-обеспечение основных этапов: от аналитики и проектирования до персонификации (кастомизации) продукции и контроля качества изготовления. Анализ опыта функционирования швейных предприятий в период пандемии показал, что экономически стабильными были привлекающие аутсорсинговых подрядчиков бизнес-проекты, основанные на новейших технологиях автоматизации конструкторско-технологического этапа и финальной инспекции. С внедрением инновационной технологии компьютерного зрения и анализа визуальной информации для оценки качества изготовления швейной продукции замыкается цепь цифровой трансформации в швейной отрасли.

Ключевые слова: цифровизация; компьютерное зрение; искусственный интеллект; качество изготовления одежды; дефекты; аналитика; проектирование

Введение

К началу второго десятилетия XX века инфраструктура большинства российских промышленных предприятий была заполнена типовыми и специализированными офисными ИТ-продуктами. Текущий этап цифровизации связан с вступлением общества в новую эпоху индустриализации на основе повсеместной цифровизации экономики [1]. Основные инновации «Индустрии 4,0» — это создание отечественного ИТ-рынка, развитие технологий компьютерного зрения, управление производственными процессами искусственным интеллектом, использование цифровых двойников в процессе 3D проектирования, 3D печать. В 2021 году мировой рынок цифровых технологий составил 64,9 млрд долларов, а к 2026 году аналитики MarketsandMarkets прогнозируют рост до 165,5 млрд долларов.¹ Цифровая трансформация (ЦТ) экономики — это всеобщая компьютеризация рабочих мест. ЦТ охватывает аналитический инструментарий; сбор, передачу и визуализацию данных; контрольно-измерительную деятельность. Задачей цифровизации является создание единых, объединяющих отраслевые ветви, информационных сетей, систематизирующих входную и выходную проектную документацию, парк оборудования и рабочих мест, цепочки поставок и сбыта продукции.

Мировой опыт цифровизации предприятий показал, что переход на новые условия дает высокие конкурентные преимущества, в том числе, в условиях неопределенности и изоляции. Так автоматизация и роботизация направлены на повышение качества продукции и гибкости производства, а гибридный очный и дистанционный форматы работы позволили сократить штат офисных работников, и сохранить коммуникации с партнерами.

Лидерами цифровой трансформации в России признаны отрасли, где успешно внедряют аналитику больших данных, цифровых двойников, робототехнику, интернет-вещей — это государственный сектор, банковское дело, предприятия автомобилестроения, нефтегазовый и горнодобывающий секторы, транспорт и др.

Ярким примером эффективности цифровизации в проектировании и производстве считается опыт ГК «КамАЗ». На предприятии ввели цифровую платформу управления, цифровой инжиниринг, цифровую цепочку формирования стоимости конечного продукта, аналитику проектных решений с использованием искусственного интеллекта (ИИ) на основе

¹ TADVISER. Государство. Бизнес. Технологии [Интернет-ресурс] / URL: <https://www.tadviser.ru/> (дата обращения 01.08.2022).

нейросетей (НС).² Цифровизацией на ГК «КамАЗ» охвачены такие этапы производства как проектирование автомобилей и деталей оснастки (3D моделирование), контроль геометрии деталей (3D сканирование и аналитика визуальной информации), роботизированные сварка и сборка, планирование, логистика, бухгалтерия и др. Цифровая система управления ГК «КамАЗ» функционирует благодаря систематизации в едином хранилище всей информации и наличия возможности использования данных в режиме онлайн. На каждый конечный продукт (автомобиль) на предприятии оформляют электронный паспорт. Виртуальное досье содержит сведения о базовых технических характеристиках автомобиля и его комплектующих, гарантийные обязательства, информацию о купле-продаже и смене собственника и т. д., чем обеспечивается прозрачность истории каждого выпускаемого на заводе объекта и ее достоверность.

Знаковыми признаны итоги текущего этапа цифровизации в здравоохранении РФ. В отрасли созданы множество нейросетей, содержащих базы данных информации о пациентах (истории болезни), визуализацию медицинских изображений [2] с автоматическим описанием и интерпретацией результатов диагностики, сведения для дистанционной медпомощи, формирование «персональных программ реабилитации» [3]. Эффектом от внедрения технологий искусственного интеллекта в медицине стали: рост удовлетворенности населения уровнем оказания медицинских услуг; снижение смертности благодаря повышению точности скрининг-диагностики с применением компьютерного зрения. Создание в г. Москве уникального цифрового сервиса «Единая медицинская информационно-аналитическая система (ЕМИАС)»³ позволило систематизировать медицинскую информацию, персонифицировать медпомощь, управлять потоками пациентов и медицинскими регистрами. Сервис ЕМИАС интегрирован в систему госуслуг и в общую информационную среду медицинских учреждений г. Москвы. В ЕМИАС организован доступ пациента к личной медкарте, что является своеобразным инструментом коммуникации.

Усложнение бизнес-среды, изоляция российских предпринимателей при снижении потенциала межгосударственного сотрудничества — основные драйверы развития отечественных IT-технологий для импортозамещения цифрового инструментария. С распространением цифровых технологий на предприятиях швейной отрасли ожидают повышения производительности труда, расширение вариативности производственных процессов, экономию материальных и временных ресурсов каждого бизнес-проекта, что непосредственно отразится на повышении конкурентоспособности отечественной продукции.

Методы и материалы

В исследовании применены анализ информационных ресурсов ведущих предприятий отечественной экономики, анализ научных публикаций в сфере цифровизации, междисциплинарный подход к раскрытию основных положений цифрового инжиниринга и аналитики проектных решений с использованием искусственного интеллекта (ИИ) на основе нейросетей. Проанализирован опыт цифровой трансформации отраслей: машиностроение, автомобилестроение, фармацевтика, пищевая промышленность, швейная промышленность.

² «КАМАЗ» на пути цифровизации [Интернет-ресурс] / URL: <https://kamaz.ru/press/releases> (дата обращения 23.12.2020).

³ Программа «Информационный город», на основании постановления Правительства Москвы от 7 апреля 2011 г. № 114-ПП «О Программе модернизации здравоохранения города Москвы на 2011–2012 годы» (в редакции постановления Правительства Москвы от 27.10.2011 № 513-ПП).

Разработаны базы данных и программный продукт для реализации цифровизации процесса контроля качества готовой продукции на швейном производстве. В качестве прототипа программного продукта для распознавания изображений швейных изделий выбраны нейросети на основе алгоритмов распознавания лиц, применяемые в системах безопасности и криминалистике. Интеллектуальная собственность разработок защищена патентами РФ.

Исследование проблемы и постановка задачи

Современная мода — быстроменяющееся явление. На подготовку и запуск новых моделей одежды в производство на предприятиях сегмента Fast Fashion выделяют 7–10 дней [4]. В жестких условиях конкурентной борьбы за потребительский рынок необходимо перевооружение отрасли, перевод проектной документации в полный цифровой формат. Успех цифровой трансформации швейных предприятий зависит от надежности потока информации. Кастомизация, персонификация типовых решений доступными и наглядными IT-инструментами позволят выстроить новые отношения с потребителями швейной продукции, где в условиях клиенто-ориентированного промышленного изготовления продукции базовой будет обратная связь с визуализацией образа в виде цифрового двойника изделия. Мода, как быстроменяющееся явление, стимулирует не только постоянную смену ассортимента заказов на швейных фабриках, но и расширение сферы заказчик-подрядчик. С середины прошлого столетия активно развивается аутсорсинг — размещение заказов на зарубежных швейных предприятиях. В условиях территориальной разобщенности, череды мировых кризисов и разного рода межгосударственных изоляций в отрасли успешно функционирует онлайн формат обмена информацией — заключение договоров, разработка проектной документации, логистические услуги. Единственным этапом, где до сих пор не применены цифровые технологии является контроль качества швейной продукции.

Целью исследования является разработка пилотного продукта — программно-аппаратного комплекса, реализующего цифровой контроль исполнения швейной продукции. С внедрением бесконтактного инспектирования качества промышленных партий одежды можно будет говорить о всесторонней цифровой трансформации швейной отрасли экономики.

Результаты исследования

Цифровизация предприятий швейной отрасли связана с разработкой специализированного инженерного программного обеспечения (ПО) — коммерческих продуктов, являющихся важной основой IT-технологий. Инженерное ПО включает компьютерные программы и формализованную информацию (параметрические и визуальные базы данных для обработки и передачи). Цифровизация станет успешной, если IT-технологии будут сопровождать продукт (швейное изделие) весь его жизненный цикл (Product Lifecycle Management) — с этапа разработки технического задания на проектирование до утилизации. С середины 20-го века для отрасли разработаны и успешно функционируют на швейных предприятиях системы автоматизированного проектирования (САПР) [5]. Пользователи современных САПР получают возможность практически полностью выполнить разработку в цифровой среде документации для новой модели одежды: от дизайна электронного 2D/3D эскиза и разработки полного комплекта лекал до моделирования производственных процессов и оценки качества посадки изделия на аватаре [6].

Программное обеспечение САПРО при этом решает следующие задачи:

1. Формальные, по известным алгоритмам, например, расчет параметров конструкции.

2. Неформальные, т. е. трудноформализуемые с использованием интерактивного взаимодействия пользователя с компьютером, например, полуавтоматическая раскладка лекал.
3. Неформализуемые, например, творческий поиск в эскизировании или моделировании [7].

Требованием времени стало использование облачных технологий и удаленная работа пользователей САПР одежды. Современные технологии позволяют функционировать двум вариантам интеграции облачных технологий:

1. Конструктор использует инженерное ПО и цифровую инфраструктуру предприятия, находясь на рабочем месте на производстве.
2. Проектировщик дистанционно получает доступ к САПР, размещенным на удаленных серверах. Такой вариант работы используют фирмы, привлекающие конструкторов-аутсорсеров.

Проведенный авторами анализ опыта функционирования отечественных малых швейных предприятий в период пандемии 2019–2020 гг. показал, что сохранить рентабельность удалось тем фирмам, которые активно использовали онлайн формат коммуникаций с потребителями и поставщиками, перевели инструментарий проектирования и структурного взаимодействия в облачные IT-технологии, а многие этапы производства — в аутсорсинг [4; 8].

Новаторскими направлениями развития IT-технологий для процесса автоматизированного проектирования одежды являются: 4D антропометрия движущегося человека [9], прогнозирование антропометрического соответствия и качества посадки с использованием цифровых двойников фигур со сложной конфигурацией тел [10], применение искусственного интеллекта на творческом этапе проектирования кастомизированной одежды, использование инструментов виртуальной реальности [11] в оценке проектных решений. Решение этих задач основано на встраивании в процессе проектирования сканирующего оборудования, сопряженного с компьютером. Полученная таким образом скан-информация позволяет реалистично визуализировать цифровые образы человека и одежды. Поэтому, одной из задач цифровизации промышленных предприятий является внедрение систем компьютерного зрения для решения различных производственных задач (ввод данных, контроль работы персонала и конвейерных линий, безопасность на производстве и т. д.). В программно-аппаратных комплексах компьютерного зрения (Computer Vision) специально разработанное программное обеспечение позволяет автоматически фиксировать и обрабатывать статичные изображения и видеоряд.

Составной частью компьютерного зрения является видеоаналитика. Термин «видеоаналитика» (Video Content Analysis) означает автоматическую, в реальном времени, обработку визуальной информации, поступающей со сканирующих устройств и анализ видеоконтента без прямого участия человека [12]. Типовая комплектность оборудования для осуществления видеонаблюдения и видеоаналитики (VCA) — это цифровые видеокамеры (или фотокамеры), источники освещения, компьютеры с программным обеспечением, системы хранения данных (СХД) [13]. Современные комплексы VCA распространены в космической отрасли, в промышленности (металлургия, горнодобывающая, машиностроение, приборостроение, авиастроение, фармацевтика, пищевая отрасль и др.), городском хозяйстве (дороги, транспорт, энергетика, строительство), в банковской сфере, в деятельности госструктур и полиции [14–18]. Видеоаналитика используется в системах цифрового контроля качества изготовления продукции (дефектоскопии) [19]. Цифровой дефектоскопией с высокой точностью выявляют брак (трещины, сколы, несоответствие габаритов каждой единицы

эталонному образцу) в конвейерных потоках автомобильных запчастей, печатных плат, микросхем. На фармацевтических и пищевых производствах бесконтактный контроль компьютерным зрением позволяет обнаружить такие дефекты, как не заполненность контейнеров, некондицию продукта и маркировки [20; 21].

Расширение применения компьютерного зрения для нужд швейной промышленности связано с развитием возможностей программных продуктов [22]. В содержание многих этапов создания новых моделей одежды включена творческая составляющая. Продуктивность процесса проектирования одежды зависит от интеллектуальной деятельности дизайнера, особенностей передачи накопленного в отрасли опыта и потенциале воплощения генерированных человеком идей. На данном этапе развития IT-технологий значительная доля такой информации не формализуема, т. е. существует сложность алгоритмически описать многогранность сочетаний замысла художника с поиском формы изделия конструктором. Кроме того, значимым фактором, тормозящим переход на сквозное цифровое проектирование швейных изделий, является нестабильность пространственной конфигурации объекта (одежды) [23]. На 3D геометрию одежды влияет морфология тела человека, свойства конфекцион-пакета материалов [24] и особенности модели [25], что осложняет программирование. Приемлемым решением обозначенной проблемы на данном этапе развития технологий является использование имитационного проектирования [26], основанного на визуализации в графической среде образов проектируемых изделий с симуляцией инструментарием САПР свойств материалов на основе эмпирически полученных знаний об объекте. Популярным на данный момент графическим редактором, воплощающим такой алгоритм имитационного проектирования, является зарубежная САПР-симулятор CLO3D.

Тестирование инструментария САПР-симулятора CLO3D показало, что в графической среде программы в интерактивном режиме пользователю доступна возможность генерации образа одежды, оценки качества посадки по визуальному образу цифрового двойника изделия [2; 10; 20]. В программный аппарат CLO3D заложены алгоритмы о деформационных характеристиках материалов. Однако, функционал симулятора нуждается в постоянном совершенствовании. Для достоверности визуализации поведения материала в изделии, обоснованном прогнозировании причин возникновения дефектов посадки и достоверности их графического представления необходима серия экспериментов, причем существует вероятность перманентности исследований в виду постоянно расширяющегося ассортимента материалов, многообразия форм одежды и морфологии фигур.

Актуальным является разработка отечественного аналога IT-продукта с открытой программной средой, наполнение которой должно быть основано на использовании технологий искусственного интеллекта (ИИ). Новый вид САПР, в программный аппарат которых заложены функции ИИ — это самообучающаяся система, наполненная базами данных (нейросеть), способная генерировать новые проектные решения [26–28]. В текущий период развития IT-технологий для швейной промышленности могут быть созданы самообучающиеся САПР, допускающие интерактивное участие человека, контролирующего проект и проверяющего результат.

Для процесса цифрового проектирования одежды в самообучающихся САПР востребованы такие составляющие IT-технологии искусственного интеллекта, как:

- 3D сканирование субъектов и объектов проектирования;
- распознавание сканированных образов компьютерным зрением;
- описание содержания визуальных образов, анализ соответствия модельного решения модному образу и востребованности моделей [29];

- нахождение закономерностей в формообразовании, модельных особенностях [30], конфекционировании, поведении материалов и т. п.;
- синхронная визуализация изменений образа одежды и проектных решений [31];
- оценка качества конструкторской и технологической подготовки модели к запуску в производство;
- кастомизация изделий (внесение персонифицированных изменений в конструкцию, конфекционирование модели, технологическое решение);
- контрольно-измерительная функция, выявление дефектов изготовления и брака;
- машинное обучение.

Поскольку в процессе проектирования одежды дизайнер использует разнообразную визуальную информацию, то структурирование и накопление базы знаний для наполнения функционала самообучающихся САПР одежды целесообразно аккумулировать в базах данных, объединенных, в последствии, в единую нейросеть (ЕНС). Количество слоев в сети, как и нейронов входного слоя, определяется задачами, поставленными перед разработчиками ПО. Поскольку, в швейной отрасли, современные самообучающиеся САПР призваны решать как формализованные, так и неформализуемые задачи, то целесообразна разработка многослойной сети [32], включающей скрытые слои (рис. 1а). Обучение сети программируется способом «обучение с учителем», т.е. для вычисления выходных параметров необходимо предварительно подготовить выборку обучающих примеров с соответствующим значением целевого вектора (рис. 1б). При этом расчет ошибки и веса каждого нейрона выполняется до тех пор, пока общая ошибка обучающего массива не примет приемлемое наименьшее значение [32, с. 20].

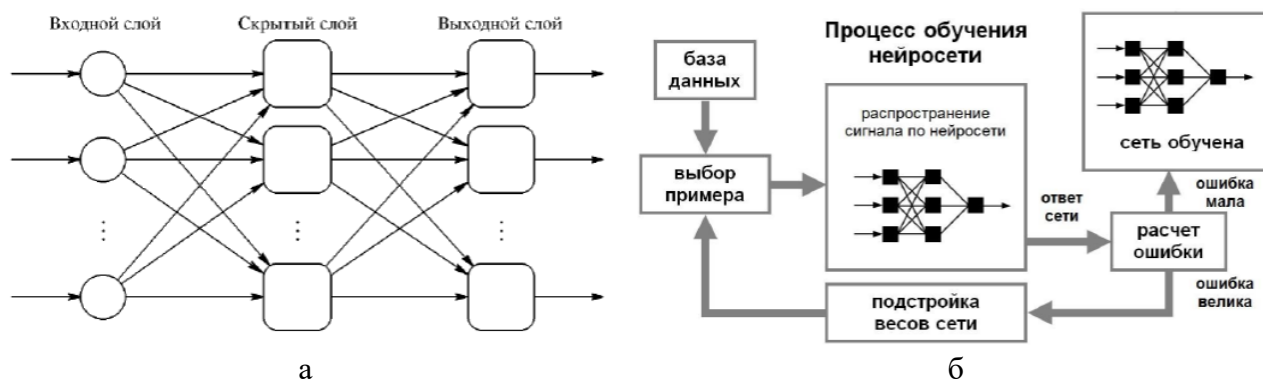


Рисунок 1. Пример нейросети для БД самообучающейся САПРО:

а — вид многослойной нейросети; б — алгоритм «обучения с учителем» [32]

Одним из входных нейронов должна быть оценка системой рентабельности производства каждой модели, ее конкурентоспособности и востребованности.

В РГУ имени А.Н. Косыгина разработана база данных с открытой средой⁴ (рис. 2), в качестве СУБД (системы управления базой данных) выбран формат Microsoft Excel (рис. 3), совместимый с системой 1С что обеспечивает быстрый поиск информации с помощью фильтров.

⁴ Гусева М.А., Белгородский В.С., Андреева Е.Г., Чистякова А.И. Автоматизация отбора новых моделей одежды к запуску в массовое производство // Свидетельство о регистрации базы данных 2021620005, 11.01.2021. Заявка № 2020622781 от 23.12.2020.

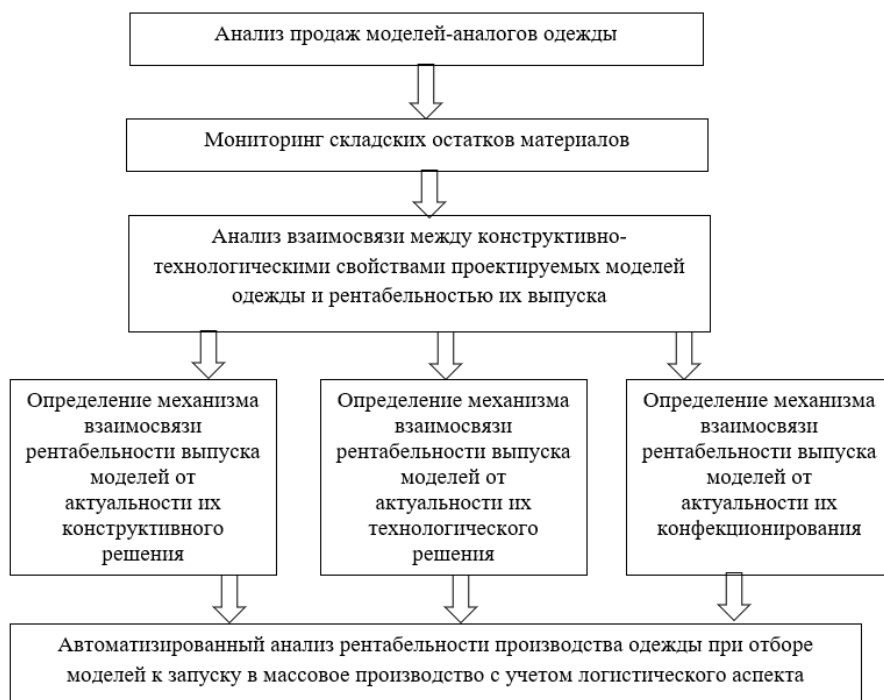


Рисунок 2. Алгоритм автоматизированного отбора моделей одежды к запуску в производственный процесс [4]

Сезон	Вид изделия	Модель	Произв. дено, шт.	Продано, шт.	Процент продаж, %	Дата поставки в торговые точки	Шкала соответствия актуальным трендам
SS19	Шорты		72	50	69,44	28.07.2019	10
SS19	Платье		118	93	78,81	20.05.2019	9
FV18	Брюки		86	78	90,70	15.09.2018	8

Наименование	Остаток	Единица измерения	Стоимость, руб.	Материал	Потребность на единицу модели	Количество единиц в партии	Потребность на партию
Ткань хлопчатобумажная «Альпакорун» 148 8562	112	м	352,70	8885485	1,8	120	216
Кожная пропитанная ткань Моксин голубовая 11см 859	1580	шт	8,7	5454425	5	120	600
Нитки Басфит 120 1000	40000	м	8,07	2454888	2,0	85	170
Ткань хлопчатобумажная «Орион» 150 882	547	м	233,2	5687834	2,8	85	238
Ткань хлопчатобумажная «Гусинья» 180см 1000	154	м	621,21	5487774	1,4	110	154
Ткань хлопчатобумажная «Фро» 180см	250	м	286,34	5487874	1,35	115	155,25
Ткань хлопчатобумажная «Клетка» 175см	250	м	445,52	5487876	1,83	75	138,75
Нитки Басфит 120 0278	90000	м	8,07	5454888	1,70	140	238,00
Плутониды ННТ120 15см	2225	шт	2,15	5478788	8	118	944

Рисунок 3. Фрагменты страниц базы данных (входной нейрон), автоматизирующей отбор моделей одежды к запуску [4]

Назначение скрытых слоев нейросети — аккумуляция широкого спектра информации для процесса проектирования одежды. Одним из трендов цифровой трансформации является переход от поточных производств к персонализации типовых решений (кастомизация). Конструкторы швейных предприятий, оснащенных современными трехмерными САПР, имеют опыт использования цифровых двойников — трехмерных виртуальных образов типовых и индивидуальных фигур для процесса конструирования 3D оболочек одежды и оценки качества проектных решений.

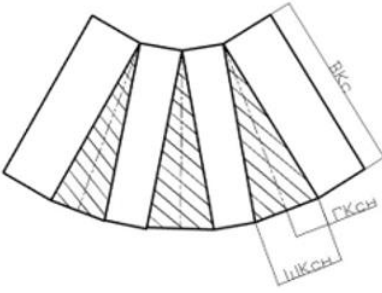
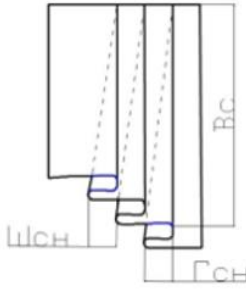

Так, на этапе корректировки типового аватара из базы САПР, необходима виртуальная антропометрия, поэтому наполнение одного из скрытых слоев нейросети информацией об идентификации основных и дополнительных параметров, описывающих 3D геометрию фигур и швейных объектов [33], значительно оптимизирует данный этап работы дизайнера.

На этапе построения конструкции модели проектировщик должен владеть не только теорией и навыками применения методик конструирования, но обладать знаниями о взаимодействии системы «человек-одежда», выражающимися в трактовке пространственной конфигурации образа проектируемого изделия.

Поэтому оптимизация проектной деятельности в самообучающейся САПР заключена в аккумуляции интуиции и эмпирического опыта дизайнеров многих поколений в виде алгоритмов действий по выбору зависимостей параметров одежды⁵ от модных форм⁶ (табл. 1) и свойств материалов (табл. 2) для последующей генерации цифрового двойника проектируемой модели (табл. 3).

Таблица 1

Фрагмент базы данных (слой нейросети), параметризирующей конструктивно-технологическое решение сложной пространственной формы одежды

№ кода	Схема конструкции складок	Схема внешнего вида складок	
111			
Параметры складчатой поверхности			
Наименование	Обозначение	Величина, см	Модель изделия
Высота складки	Вс	70,0	
Глубина складки снизу	Гсн	3,5	
Ширина складки снизу	Шсн	7,0	
Высота складки в конструкции	ВКс	70,0	
Глубина складки снизу в конструкции	ГКсн	3,5	
Ширина складки снизу в конструкции	ШКсн	7,0	

Источник [7]


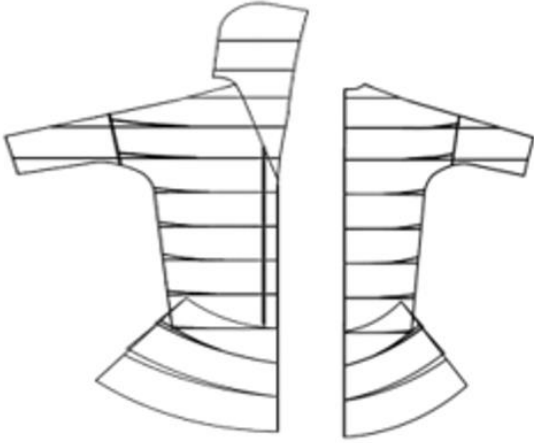
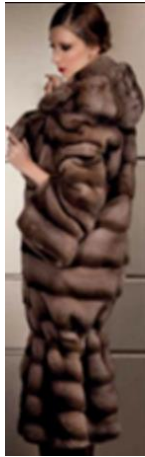




⁵ Белгородский В.С., Смирнова Н.А., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Разбродин А.В., Разумеев К.Э., Гетманцева В.В., Петросова И.А. Базовые цифровые шкалы формообразующих свойств льносодержащих тканей / Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019620688, 26.04.2019. Заявка № 2019620542 от 10.04.2019.

Белгородский В.С., Смирнова Н.А., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Разбродин А.В., Разумеев К.Э., Гетманцева В.В., Петросова И.А. Базовые цифровые шкалы деформационных свойств льносодержащих тканей / Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019620689, 26.04.2019. Заявка № 2019620541 от 10.04.2019.

⁶ Гетманцева В.В., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Петросова И.А., Белгородский В.С., Смирнова Н.А. Параметрическое проектирование складчатых поверхностей в одежде / Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019621730, 09.10.2019. Заявка № 2019621637 от 27.09.2019.

Таблица 2

Фрагмент базы данных (слой нейросети), кастомизирующей конструктивно-технологическое решение мехового изделия на основе цифрового конфекционирования

Технических эскиз модели	Конструктивное решение			Вид готового изделия	
					
Характеристика меха (варианты)					
Визуальная характеристика меха	Шкала эстетических свойств, балл			Шкала геометрических свойств, балл	
	Интенсивность блеска	Густота волосяного покрова	Опушенность	Размеры шкурки	Площадь шкурки
Бобр 	89	69	74	80	74
Соболь клеточный 	86	60	100	44	36
Норка 	80	60	67	39	45
Куница лесная 	59	50	62	42	34

Источник ⁷

⁷ Гусева М.А., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Али К.К., Балакирев Н.А., Разумеев К.Э. Инструменты визуализации эстетических и геометрических характеристик пушно-меховых полуфабрикатов // Свидетельство о регистрации базы данных 2021622735, 01.12.2021. Заявка № 2021622633 от 22.11.2021.

Таблица 3

**Фрагмент базы данных (слой нейросети),
параметризирующей свойства мехового полотна виртуального двойника**

Вид меха	Визуализация в изделии	Визуализация свойств	Карты свойств	Величина
Мохер			Weight, g/m ²	210
			Thickness, mm	0,5
			Length, mm	30,0
			Density (incn 2)	180
			Thichness	0,1
Лисица			Weight, g/m ²	303
			Thickness, mm	0,67
			Length, mm	60,0
			Density (incn 2)	680
			Thichness	0,2
Норка			Weight, g/m ²	230
			Thickness, mm	0,5
			Length, mm	25,0
			Density (incn 2)	890
			Thichness	0,17
Ондатра			Weight, g/m ²	230
			Thickness, mm	0,5
			Length, mm	25,0
			Density (incn 2)	890
			Thichness	0,17

Источник⁸

Для осмысленной коммуникации заказчиков и сотрудников швейного кастомизированного предприятия важным является визуализация на виртуальном образе особенностей дизайна модели и поверхности материалов изделия [34].

⁸ Гусева М.А., Новиков М.В., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Петросова И.А., Балакирев Н.А. Базовые цифровые шкалы эстетических и геометрических свойств меха // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019620409, 15.03.2019. Заявка № 2019620266 от 01.03.2019.

Цифровизации финального этапа процесса проектирования и производства модной одежды посвящены инновационные исследования по применению искусственного интеллекта в оценке качества изготовления одежды [35]. Этап финальной инспекции готовой швейной продукции, в классическом понимании сущности процесса, осложнен монотонностью труда и обилием измерительных процедур контактным способом. Интенсивность труда технолога-контроллера ОТК часто приводит к эмоциональному выгоранию, результативность деятельности сотрудника к концу рабочего дня неуклонно снижается. В условиях аутсорсинговых бизнес-проектов негативными факторами являются межнациональные различия в трактовках ключевых понятий [36], определяющих качество конечного продукта. В их числе конфекционирование пакета материалов, особенности исполнения технологических требований к изготовлению и отделочным операциям. Авторами разработана технология контроля машинным зрением швейных полуфабрикатов и готовой продукции, дистанционная обезличенная параметризация швейных объектов с помощью IT-продукта, входящего в комплектность программно-аппаратного комплекса.

Разработке программно-аппаратного комплекса (ПАК) GarmentScanner⁹ предшествовал этап по разработке баз данных описательных, визуальных и метрических характеристик технологических¹⁰ и конструктивных¹¹ дефектов готовой одежды, распознаваемых компьютерным зрением. В архитектуре формируемой нейросетевой модели базовые шкалы дефектов расположены на финальных скрытых слоях, что позволяет инспектору оценить критичность выявленного брака и обосновать оформление возврата промышленной партии на переделку.

В программном обеспечении ПАК GarmentScanner заложен алгоритм идентификации образов по одному кадру на основе метода Виола-Джонса (Viola P., Jones M.) [37]:

- обнаружение объекта в поле видимости съемки;
- первичная обработка изображения, удаление помех (шумов),
- построение вектор-описания, сравнение с эталоном, определение размерности [38].

Окно поиска ПО тестирует изображение изделия, вычленяет прямоугольные примитивы (признаки Хаара), программа рассчитывает геометрические характеристики в реперных точках¹² (табл. 4), классифицирует объект, определяет его схожесть с образцом [22] из «Технического описания».

⁹ Рогожина Ю.В., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Данильченко А.О., Слободян М.В. GarmentScanner / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021617946, 20.05.2021. Заявка № 2021616837 от 30.04.2021.








¹⁰ Рогожина Ю.В., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Глебова Т.Г. Базовые цифровые шкалы технологических дефектов швейных изделий, определяемых техническими средствами идентификации // Свидетельство о регистрации базы данных 2020621712, 18.09.2020. Заявка № 2020621588 от 10.09.2020.

¹¹ Гусева М.А., Рогожина Ю.В., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Глебова Т.Г. Цифровые шкалы конструктивных дефектов швейных изделий, определяемых техническими средствами идентификации // Свидетельство о регистрации базы данных 2020622293, 16.11.2020. Заявка № 2020622192 от 09.11.2020.

¹² Гусева М.А., Рогожина Ю.В., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Глебова Т.Г. Цифровые шкалы измерений швейных изделий для автоматизированного контроля качества // Свидетельство о регистрации базы данных 2020622292, 16.11.2020. Заявка № 2020622191 от 09.11.2020.

Таблица 4

Фрагмент базы данных (слой нейросети), этап оценки качества футболки техническими средствами идентификации

Описание дефекта	Визуализация	Допустимое отклонение, см	балл
Несимметричность горловины		0,2	10
Месторасположение и угол наклона декоративных деталей (принт, карман, застежка, кокетка)		0,5	40
Разные углы наклона плечевых швов		0,7	9
Разная длина рукавов		0,7	8
Разная длина плечевых швов		0,7	7
Разная ширина рукавов		1,0	6
Разная длина боковых швов		1,05	

Разработано авторами

На данном этапе исследований, обучение нейросети для функционирования GarmentScanner основано на выборках положительных и отрицательных изображений. Метод идентификации изображений на основе работы каскадов Хаара получил высокую оценку в ПО распознавания лиц. Схожесть алгоритмов идентификации позволила выбрать математическое описание обучения нейронной сети для GarmentScanner, как мультиномиальную логистическую функцию потерь [18]:

$$-\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \log[P(y = y_m | x_m, \theta)] \longrightarrow \min_{\theta}, \quad (1)$$

где x_m — изображение готового изделия; y_m — соответствующий этому изображению идентификатор объекта; θ — обучаемые параметры модели.

Начальный этап обучения виртуального измерительного инструмента GarmentScanner основан на идентификации объекта в поле сканирования и параметризации изделий плоских форм: футболки, майки, трусы. С помощью IT-программы оператор, согласно технической документации на модель, бесконтактно измеряет габариты одежды (основных и отделочных деталей) на заданных уровнях: длины, ширины, угловые характеристики. Алгоритм распознавания GarmentScanner швейного изделия аналогичен классическому процессу распознавания объектов по плоским изображениям. Первоначально IT-программа сравнивает с эталоном внутренний и внешний контуры скан-копии изделия, далее выполняет расчет метрических характеристик (рис. 4).

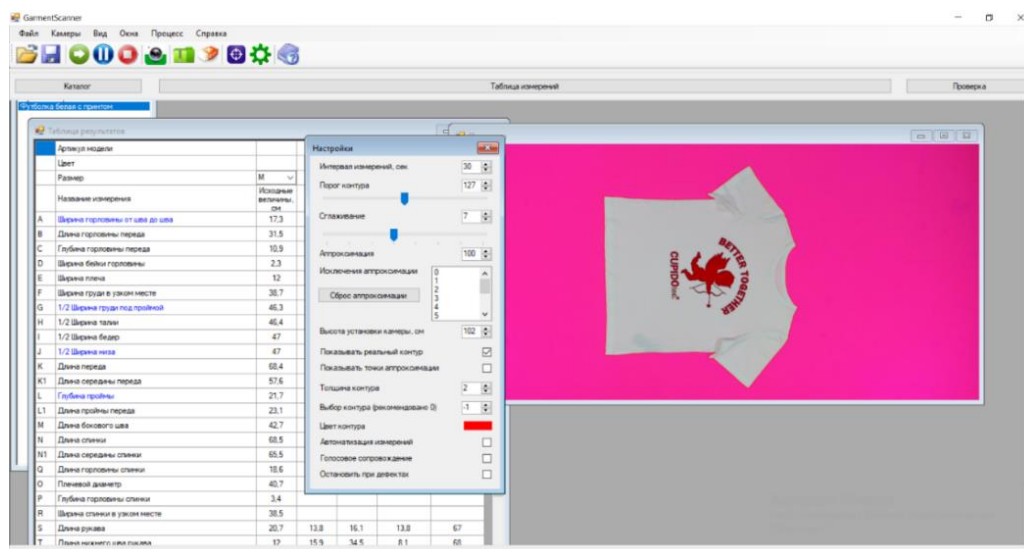


Рисунок 4. Фрагмент работы GarmentScanner. Калибровка контура объекта (на примере футболки) и определение параметров изделия (разработано авторами)

Статистическая погрешность расчетов GarmentScanner составляет не более 5%. Тестирование работы ПАК GarmentScanner на аутсорсинговом швейном предприятии «Far East» (Китай) показало, что IT-продукт определяет параметры любого изделия из промышленной партии с одинаковой точностью и скоростью [39].

Следующий этап обучения GarmentScanner — идентификация дефектов материала и качества швов/строчек. На текущем этапе база ПАК включает положительные и отрицательные изображения дефектов:

- полотна (складки, дыры, раздвижки нитей, отсутствие нитей в структуре, утолщение/утонение нитей);
- колористики материала (разнотон, изменение тона окраски после декатирования, потеря интенсивности расцветки, пятна после ВТО);
- принтирования (поврежденная поверхность принта после растяжения, видимые вспомогательные линии на поверхности, неравномерное покрытие принта);
- пятна (ржавчины, от клея, грязь, масляные, от маркера);
- строчек (разрывы, пропуски стежков, слабое скрепление и т. д.);
- швов (перекрученность, не совмещенность уровней, несимметричность).

Преимуществом встраивания виртуального измерительного инструмента в производственный цикл является обезличенность этапа инспекции, исключение влияния человеческого фактора на важный этап оценки качества производственных партий одежды.

Кроме того, GarmentScanner может функционировать в «облачных» технологиях, что позволит технологу-инспектору, работающему с зарубежными аутсорсинговыми подрядчиками, дистанционно контролировать процесс изготовления как полуфабрикатов, так и готовой продукции.

Выводы и рекомендации

Цифровизация швейных предприятий, как и других объектов российской индустрии, призвана поддерживать экономическую безопасность государства. Общий формат цифровизации швейного производства целесообразно базировать на ключевых закономерностях, успешно апробированных на предприятиях таких отраслей, как машино- и авиастроение, применяющих технологии искусственного интеллекта в проектной сфере, аналитике бизнес-процесса, контроле качества продукции.

На современном этапе совершенствование ИТ-инфраструктуры в швейной отрасли охватывает все этапы производства — от подготовительного до финальной инспекции готовой продукции. Бурно развиваются технологии 3D-дизайна с применением цифровых двойников и искусственного интеллекта для процесса проектирования одежды. С цифровизацией производства в швейной отрасли сформировалась возможность дистанционной релокации среди управленческого персонала фабрик, бухгалтерии, а также, сотрудников дизайн-бюро — конструкторов и технологов. С расширением фриланса и аутсорсинга остро встала проблема дистанционного контроля качества проектных решений и инспекции готовой продукции с применением программно-аппаратных комплексов машинного зрения.

Использование в процедуре контроля машинного зрения для идентификации и параметризации объектов позволит в целом замкнуть цепочку цифровой трансформации швейного производства.

Цифровая трансформация швейных предприятий предполагает создание единой информационной сети, накапливающей творческий и производственный опыт поколений. Поскольку доступ к сети будет открыт для специалистов отрасли, то перед разработчиками сети стоит задача гарантировать достоверность информации. Такую гарантию может дать технология блокчейн (Blockchain) — распределенная база данных, хранящая информацию в виде блоков одновременно в множестве узлов сети, где внесение каких-либо изменений возможно лишь после подтверждения их легитимности участниками сети, для швейных предприятий — это технологи, конструкторы, маркетологи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балацкий Е.В. Глобальные вызовы четвертой промышленной революции // Современная экономическая теория, — 2019. — № 17(2). — с. 6–22.
2. Гусева М.А. Исследования асимметрии женской груди для цифрового проектирования швейных изделий / М.А. Гусева, Е.Г. Андреева, А.С. Шаршова, К. Али кызы // Костюмология. — 2023. — Т. 8. — № 1. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/07TLKL123.pdf>.
3. Фершт В.М., Латкин А.П., Иванова В.Н. Современные подходы к использованию искусственного интеллекта в медицине // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. — 2020. — Т. 12, — № 1. — С. 121–130.

4. Гусева М.А. Автоматизированный отбор моделей швейных изделий к запуску в массовое производство / М.А. Гусева, Е.Г. Андреева, Ю.В. Рогожина, А.И. Чистякова // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. — 2021. — Т. 13, № 1. — С. 152–162.
5. Опыт управления инновациями для новых конструкторско-технологических разработок в промышленности. / Черунова И.В., Чуян А.И., Стефанова Е.Б., Стенькина М.П., Сирота Е.Н., Давыдова Ю.А., Лесникова Т.Ю., Ковалева А.А., Коринтели А.М., Черунов П.В. // Коллективная монография / Новочеркасск, 2019. — 77 с.
6. Li J. Fitting 3D garment models onto individual human models / Li J., Ye J., Wang Y., Bai L., Lu G. // Computers and Graphics. — 2010. — Vol. 34, — Is. 6. — P. 742–755.
7. Гетманцева В.В., Андреева Е.Г. Обобщенная модель процесса параметрического проектирования одежды // В сб. науч. трудов Междунар. науч.-техн. симпозиума «Современные задачи инженерных наук». — М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2017. — С. 86–90.
8. Гусева М.А. Цифровизация дефектов одежды для оптимизации аутсорсингового изготовления «Fast fashion» коллекций / М.А. Гусева, В.В. Гетманцева, Е.Г. Андреева, Ю.В. Рогожина, В.Б. Смирнов // Дизайн и технологии, — 2019. — № 75(117). — с. 43–48.
9. De Silva R.K., Rupasinghe T.D., Apeagyei P. A collaborative apparel new product development process model using virtual reality and augmented reality technologies as enablers // International Journal of Fashion Design, Technology and Education. — 2019. — Vol. 12, — Is. 1. — P. 1–11.
10. Гусева М.А. О перспективах цифровой моды для полных женщин / М.А. Гусева, А.С. Шаршова, Е.Г. Андреева // Костюмология. — 2023. — Т 8. — № 2. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/07TLKL223.pdf>.
11. Yuan M., Khan I.R., Farbiz F., Yao S., Niswar A. A mixed reality virtual clothes try-on system // IEEE Transactions on Multimedia. — 2013. — Vol. 15. — No. 8. — P. 1958–1968.
12. Steger C., Ulrich M., Wiedemann C. Machine Vision Algorithms and Applications. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH. — 2018. — 516 p.
13. Дятлов Е.И. Машинное зрение (аналитический обзор) // Информации и телекоммуникационные технологии. — 2013. — № 2. — С 32–40.
14. Обухов А.В., Ляшева С.А., Шлеймович М.П. Методы автоматического распознавания автомобильных номеров // Вестник Чувашского университета. — 2016. — № 3. — С. 201–208.
15. Казанский Н.Л., Попов С.Б. Распределенная система технического зрения регистрации железнодорожных составов // Компьютерная оптика. — 2012. — т. 36. — № 3. — с. 419–428.
16. Никитин, М.Ю. Нейросетевая модель распознавания человека по лицу в видеопоследовательности с оценкой полезности кадров / М.Ю. Никитин, В.С. Конушин, А.С. Конушин // Компьютерная оптика. — 2017. — Т. 41. — № 5. — С. 732–742. — DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-5-732-742.

17. Бахтеев Д.В. Компьютерное зрение и распознавание образов в криминалистике // Российское право: образование, практика наука. — 2019. — № 3. — с. 66–74.
18. Немцев Н.С. Подход для повторной идентификации модели транспортного средства по его изображению // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2019. — Т. 19. — № 4. — С. 722–729. — DOI: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-722-729.
19. Гордеев Д.В. Применение машинного зрения для поиска и обнаружения поверхностных дефектов сварных соединений // *Juvenis scientia*. — 2018. — № 3 — с. 4–6.
20. Дворецкий Н. Системы машинного зрения в фармацевтической промышленности // CONTROL ENGINEERING РОССИЯ. Серия Автоматизация в фармакологии. — 2018. — № 5(77). — с. 65–69.
21. Благовещенский М.Г. Использование системы компьютерного зрения для контроля в режиме онлайн качества сырья и готовой продукции пищевой промышленности // Пищевая промышленность. — 2015. — № 6. — с. 9–13.
22. Белгородский В.С. Искусственный интеллект в оценке качества готовой швейной продукции. / В.С. Белгородский, М.А. Гусева, Е.Г. Андреева, Ю.В. Рогожина // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2022. — № 2(398). — С. 168–177.
23. Фроловский В.Д., Ландовский В.В. Разработка и исследование компьютерных методов трехмерного проектирования одежды // Омский научный вестник. — 2006. — № 3(36). — С. 132–137.
24. Hui P.C.L. Application of artificial neural networks to the prediction of sewing performance of fabrics / Hui P.C.L., Chan K.C.C., Yeung K.W., Ng F.S.F. // *International Journal of Clothing Science and Technology*. — 2007. — Vol. 19. — No. 5. — P. 291–318.
25. Gu X. Fashion analysis and understanding with artificial intelligence / Gu X., Gao F., Tan M., Peng P. // *Information Processing & Management*. — 2020. — Vol. 57. — Is. 5. — P. 102276.
26. Рогожин А.Ю. Имитационная модель процесса формообразования поверхности одежды / Рогожин А.Ю., Гусева М.А., Андреева Е.Г. // *Дизайн и технологии*. — 2017. — № 63. — с. 47–57.
27. Rosenblatt F. Principles of neurodynamics: Perceptrons and the theory of brain mechanisms. — Michigan: Spartan Books. — 1962. — 616 p.
28. Dai W. Very deep convolutional neural networks for raw waveforms / W. Dai, C. Dai, S. Qu, J. Li, S. Das // *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*. — 2017. — P. 421–425.
29. Смирнов Е.Е. Распознавание вида одежды и обуви по изображению / Е.Е. Смирнов, В.В. Костылева, И.Б. Разин [и др.] // *Костюмология*. — 2023. — Т 8. — № 1. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/03TLKL123.pdf>.
30. Иващенко И.Н. Этапы проектирования школьного сарафана повышенной комфортности для девочек с избыточной массой тела / И.Н. Иващенко, В.В. Гетманцева, О.А. Зимина // *Костюмология*. — 2023. — Т 8. — № 1. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/06TLKL123.pdf>.

31. Гетманцева В.В. Разработка методики конструирования персонифицированной детской одежды / В.В. Гетманцева, М.Д. Копылова // Костюмология. — 2022. — Т 7. — № 3. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/03TLKL322.pdf>.
32. Гафаров Ф.М., Галимянов А.Ф. Искусственные неронные сети. — Казань: Изд-во КГУ. — 2018 — 121 с.
33. Hamad M., Thomassey S., Bruniaux P. A new sizing system based on 3D shape descriptor for morphology clustering // Computers & Industrial Engineering. — 2017. — Vol. 113. — P. 683–692.
34. Le K. Virtual textiles: Making realistic fabrics in 3D // AATCC REVIEW. — 2017. — Vol. 17. — Is. 3. — P. 31–37.
35. Rogozhina, Iu. Garment Production Quality Evaluation Using Machine Vision. / Iu. Rogozhina, M. Guseva, E. Andreeva // Proceeding of the International Science and Technology Conference "FarEastCon 2021". "Smart Innovation, Systems and Technologies". Springer, Singapore. — 2022. — vol. 275. — P. 309–318. — DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-8829-4_27.
36. Рогожина Ю.В. Национальная специфика деловой культуры россиян и ее проявление в условиях аутсорсинговых швейных производств. / Ю.В. Рогожина, Л.Е. Яковлева, М.А. Гусева, Е.Г. Андреева // Образ русского мира в междисциплинарном дискурсе: межвузовский сборник статей / под общей редакцией Л.Е. Яковлевой. — Москва: Изд-во РГУ имени А.Н. Косыгина. — 2020. — с. 72–79.
37. Viola P., Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features // Proceedings of Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. — 2001. — Vol. 1. — P. 511–518.
38. Nazil P., Darshan K., Ishan B. An overview on template matching methodologies and its applications // International Journal of Research in Computer and Communication Technology. — 2013. — Vol. 2. — No. 10. — P. 988–995.
39. Гусева М.А. Программно-аппаратный комплекс GarmentScanner для цифрового контроля качества швейной продукции / М.А. Гусева, Е.Г. Андреева, Ю.В. Рогожина // Дизайн и технологии. — 2022. — № 89(131). — с. 36–46.

Guseva Marina Anatolievna

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia
E-mail: guseva_marina67@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3491-6132>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=829347

Rogozhina Iuliya Vladimirovna

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia
E-mail: iulia3008@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1077994

Experience and prospects of digital transformation of the garment industry

Abstract. The article presents the experience of digital transformation in the global and domestic economies. The generalized concept of «digital technologies» includes such IT products as machine vision, artificial intelligence, remote monitoring, blockchain, industrial robots and human-machine interfaces, digital twins, 3D design and 3D printing. In the global economy, the demand for digital technologies is growing annually, on average, by 20 %. The leaders of digital transformation are the economies of the USA, China, Japan, South Korea, India, Germany, and France. The annual growth of smart manufacturing technologies (Smart Manufacturing Market) in the economy of the countries-digital leaders is estimated by analysts at 12–14 %, which is facilitated by the complication of supply chains, shortening of delivery and marketing times, and tightening of product quality control. Digital leaders assign a special role to the introduction of their own IT corporations into the economies of other countries. Therefore, the creation of Russian IT products for the digital economy is aimed at ensuring the economic security of the state, especially in the current conditions of isolation and sanctions.

It has been established that in Russia the digital transformation began with the public sector, industrial enterprises of heavy engineering, instrumentation, aircraft manufacturing, mining, pharmaceutical plants, and food factories are transferring to a digital format of operation. The most demanded are three-dimensional design of objects using digital twins, blockchain and remote monitoring using machine vision, and robotics.

In the article, the authors analyzed the results of the current stage of digitalization of enterprises in the clothing industry. At the present stage, for the digital transformation of the clothing industry, IT support is being developed and improved for the main stages: from analytics and design to personification (customization) of products and quality control of manufacturing. The experience of the operation of clothing enterprises during the pandemic showed that business projects attracting outsourcing contractors based on the latest technologies for automating the design and technological stage and final inspection were economically stable. With the introduction of innovative computer vision technology and visual information analysis to assess the quality of garment manufacturing, the chain of digital transformation in the garment industry is closed.

Keywords: digitalization; computer vision; artificial intelligence; clothing quality; defects; analytics; design