

УДК 685.31:519.85

DOI 10.47367/0021-3497_2024_3_5

РАЗВИТИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБУВНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

DEVELOPMENT OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN FOOTWEAR INDUSTRY

О.И. СЕДЛЯРОВ, С.В. ШКУРИХИНА, Е.С. БОРОДИНА, М.В. ПРОСВИРНИНА

O.I. SEDLYAROV, S.V. SHKURIKHINA, E.S. BORODINA, M.V. PROSVIRNINA

(Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(The Kosygin State University of Russia)

E-mail: shkurikhina-sv@rguk.ru, borodina-es@rguk.ru

В статье рассмотрены вопросы перспективного развития предприятий легкой промышленности на основе современных информационных технологий. Дана оценка перспектив использования имитационного моделирования на предприятиях обувной промышленности для оптимизации производственных процессов и повышения производительности. Проведен обзор современного состояния научных исследований и практических разработок, связанных с оценкой эффективности производственных систем предприятий обувной промышленности и базирующихся на имитационном моделировании. Показано, что с помощью имитационного моделирования можно осуществить прогноз загруженности производственной линии в пиковые отрезки времени, рассчитать производственные мощности и динамику складских запасов. По результатам проведенного обзора и анализа научных исследований отмечено, что использование имитационного моделирования не нашло широкого применения на обувных предприятиях нашей страны. Отмечено, что в настоящее время крайне мало отечественных исследований в этой области в отличие от зарубежных, что свидетельствует о перспективности как научных исследований в данной области, так и их практической реализации.

The article considers the issues of perspective development of light industry enterprises on the basis of modern information technologies. The article assesses prospects of using simulation modeling at footwear industry enterprises for production processes optimization and productivity increase. The review of the current status of research and practical developments related to the evaluation of the efficiency of production systems of the shoe industry and based on simulation modelling. It is shown that with the help of simulation modelling it is possible to make a forecast of the production line workload in peak periods of time, to calculate the production

capacity and dynamics of storage reserves. Based on the results of the survey and analysis of scientific studies, it was noted that the use of simulation modeling was not widely used in the shoe enterprises of our country. It is noted that at present there is very little domestic research in this area, in contrast to foreign ones, which indicates the promise of both scientific research in this area and its practical implementation.

Ключевые слова: имитационное моделирование, математические методы, оптимизация, обувное производство, цифровизация.

Keywords: simulation modeling, mathematical methods, optimization, shoe production, digitalization.

Введение

Легкая промышленность является одной из важнейших отраслей экономики любого государства. Благодаря этой отрасли на свет появляются необходимые для жизни людей товары широкого потребления: одежда, обувь и текстиль [1].

2022 год стал испытанием для легкой промышленности нашей страны, рынок покинули многие зарубежные поставщики сырья и фурнитуры, нарушились привычные логистические цепочки, но вместе с тем с российского рынка ушли главные конкуренты – зарубежные бренды и у отечественных предпринимателей появился шанс завоевать рынок [2].

Государственная поддержка сыграла важную роль в развитии легкой промышленности России. Благодаря ей крупные и малые предприятия отрасли получили финансовую помощь и успешно преодолели кризис, сохраняя рабочие места и прежние объемы производства.

Одной из отраслей легкой промышленности является обувная промышленность. Производство обуви – сложный технологический процесс, в котором помимо текстильных материалов используется химическое, металлическое, меховое, синтетическое сырье [1].

Согласно данным маркетингового исследования «Рынок обуви (с видами) в России (с данными 2022)», проведенного маркетинговым агентством Роиф Эксперт в 2022 году, на российском рынке обуви выявлена уверенная тенденция наращивания объема внутреннего производства. Объем российского производства обуви по резуль-

татам периода 2022 года увеличился на 7,6%, такие показатели являются рекордными за последнее время [3].

Традиционно легкая промышленность является одной из социально значимых отраслей для Московского региона. По словам руководителя Департамента инвестиционной и промышленной политики Москвы Владислава Овчинского: «Легкая промышленность столицы продолжает развиваться и показывать положительную динамику. Московские компании выпускают одежду, аксессуары и обувь для детей и взрослых. В прошлом году более 200 предприятий произвели одежды в 6,6 раза больше, чем годом ранее. В частности, московская обувная фабрика «Парижская коммуна» в 2022 году увеличила объемы производства на четыре процента по сравнению с показателями 2021 года. Так, на предприятии изготовили 980 тысяч пар обуви. Наибольший рост объема производства отметили в ассортименте детской обуви – 144,3 тысячи пар» [4].

Кроме того, в 2022 году на обувной фабрике «Парижская коммуна» в 1,5 раза увеличен выпуск специальной обуви для силовых структур по сравнению с 2021-м. В последние годы фабрика производит до миллиона пар обуви, что почти в два раза больше, чем пять лет назад.

В рамках деловой программы российской недели текстильной и легкой промышленности и выставки «ИНТЕР-ТКАНЬ-2022. Весна» был организован круглый стол «Цифровое производство. Цифровые двойники», посвященный будущему развитию предприятий легпрома на основе цифрови-

зации. В повестке выделили такие темы, как ответственное производство – основополагающий тренд развития текстильной и легкой промышленности; имитационное моделирование как инструмент создания цифрового двойника производства в легкой промышленности; подготовка специалистов в рамках направления «Цифровое производство», и другие.

Целью работы является рассмотрение существующего положения и возможностей использования современных и перспективных информационных технологий на предприятиях легкой промышленности.

Цифровое производство предлагает принципиально новый подход к проектированию жизненного цикла предприятия на основе цифровой модели изделия.

Наиболее интересный и современный подход к реализации концепции жизненного цикла предложен компанией Боинг [5]. Основу данной концепции составляет классическая V-диаграмма жизненного цикла, которая с позиций модельно-ориентированного моделирования дополняется своим виртуальным отражением. Каждый из этапов жизненного цикла реального продукта или системы находит свое отражение в виртуальной части модели, характеризующей этот этап. Две части диаграммы, объединенные информационными связями, образуют единое информационное поле, а сама система – это соединение реального объекта и его цифрового двойника.

Цифровой двойник является одной из ключевых технологий Индустрии 4.0. Индустрия 4.0 предполагает внедрение в профессиональную деятельность людей облачных и мобильных технологий, цифровых коммуникаций и 3D-печати. Особого внимания заслуживает взаимодействие инновационных технологий промышленной Индустрии 4.0 и легкой промышленности [6].

Глобальные процессы информатизации и компьютеризации открывают широкие возможности повышения эффективности промышленного производства. Правительство Российской Федерации утвердило «дорожную карту» по развитию Национальной технологической инициативы «Передовые производственные технологии», которая

является стратегическим документом планирования и целеполагания технологического развития Российской Федерации и национальной экономики [7].

Основными целями дорожной карты являются:

- формирование комплекса ключевых компетенций в Российской Федерации, обеспечивающих интеграцию передовых производственных технологий и бизнес-моделей для их распространения в качестве «Фабрик будущего»;

- создание конкурентоспособной продукции нового поколения для рынков НТИ и высокотехнологичных отраслей промышленности с учетом индивидуальных потребностей заказчика продукции. «Умное производство» является основой Индустрии 4.0 (Industry 4.0).

При реализации перехода текстильной промышленности на Индустрию 4.0 особое внимание необходимо уделить анализу производственного потенциала. Основными приоритетами для данной отрасли являются исследования в области материального производства в текстильной и легкой промышленности. Чтобы повысить энергоэффективность, необходимо активно применять современные методики интеллектуальных систем мониторинга, диагностики и автоматического управления оборудованием [8].

Обувная промышленность является трудоемкой отраслью, в которой значительная часть производственных процессов выполняется вручную. Мастерские, которые шьют, например, туфли для танцоров или очень дорогую обувь по индивидуальному заказу, можно отнести к «первому поколению». Немногие фабрики достигли уровня «четвертого поколения», при котором автоматизирована часть производственных процессов (раскрой, швейные операции). Процесс производства обуви проходит от простых мастерских до массового производства на более «поздних» фабриках.

Обувные предприятия сталкиваются с необходимостью анализировать и улучшать бизнес-процессы для оптимизации работы и повышения конкурентоспособности. Для этого могут быть применены методы имитационного моделирования.

Ритмичность работы обувного предприятия во многом зависит от бесперебойной работы технологического оборудования. По заранее составленному графику выполняются планово-предупредительный ремонт, который имеет профилактическую направленность и включает: межремонтное обслуживание и смазку оборудования; контроль за правильностью его эксплуатации; осмотр оборудования; текущий ремонт; капитальный ремонт; средний ремонт. Правильная организация планово-предупредительного ремонта технологического оборудования предотвращает возникновение внепланового ремонта. В статье [9] рассмотрена возможность применения имитационного моделирования для оптимального распределения нарядов на ремонт технологического оборудования обувного предприятия. Суть методов машинной имитации заключается в экспериментальном изучении социально-экономических систем на основе многократного повторения расчетов по соответствующей имитационной модели с применением ЭВМ.

Решение задач по моделированию ритмичной работы технологического оборудования создает предпосылки для оптимальной и обоснованной организации и нормирования труда механиков, снижает потери рабочего времени, повышает эффективность деятельности предприятия.

В настоящее время все этапы проектирования швейного изделия или предмета одежды осуществляют в цифровой среде, обеспечивающей существенное сокращение времени на разработку продукта, снижение потребности в физических образцах материалов, повышение эффективности бизнеса и управленческих процессов, высокий уровень гибкости компаний и способность реагировать на меняющиеся потребности рынка [10].

Используя имитационное моделирование, можно прогнозировать загруженность производственной линии в пиковые отрезки времени, что в свою очередь поможет точно рассчитать производственные мощности в связке со складскими запасами и, несомненно, будет отражаться на экономике предприятия.

Имитационное моделирование применялось и раньше, а сейчас все больше используется для прогнозирования работы разных систем. Ramiro Fuentes Ayala разработал имитационную модель для транспортировки обуви на фабрике и оценил повышение эффективности [11].

Для оптимизации производства ООО «Магнитогорская обувная фабрика» была построена имитационная модель работы производственного отдела и сформулированы рекомендации по оптимизации бизнес-процессов подготовки производства. Результаты имитационного моделирования показали, что система подготовки производства на обувной фабрике имеет множество проблем: длительная обработка и передача документов между отделами фабрики, ошибки в отчетности, отсутствие общей информационной базы предприятия, содержащей сведения о состоянии склада, заявках, сводках, поставках. Внедрение программ «1С: Управление производственным предприятием 8» и САПР «Асоль-Обувь» повысило ответственность сотрудников, обеспечило оперативный документооборот. Использование САПР «Асоль-Обувь» в три раза сократило трудозатраты конструктора [12].

Имитационное моделирование различных процессов в индустриально развитых странах является обычной составной частью проектов, направленных на создание новых или реконструкцию существующих предприятий.

Исследований, затрагивающих операционный уровень производства обуви, немного. Так, в работе [13] использована эвристическая процедура для решения задачи загрузки ячеек и планирования на машине для литья под давлением на предприятии по производству обуви. Автор работы [14] построил систему поддержки принятия решений на основе аналитического иерархического процесса для планирования и составления краткосрочного заказа массового производства обуви по индивидуальному заказу. Исследование, посвященное швейной линии обувной фабрики [15], основано на использовании эвристической процедуры для определения распределения ре-

сурсов линии сшивания на предприятии по производству обуви. Автор работы [16] использовал моделирование для определения программы производства обуви различных стилей [17].

Исследование [18] представляет собой имитационное моделирование линий покраски обуви на обувной фабрике. Цель данной работы – показать полезность применения реинжиниринга в обувной промышленности, чтобы внести предложение по изменению проблемной области на линии покраски, а также сравнить его с текущим процессом с использованием имитационного моделирования, выполненного в ПО Arena™. Предложение состояло в объединении двух производственных линий и сравнении текущей организации производственных линий с предложенной, а также в сравнении различных параметров, таких как использование ресурсов и производительность. Результаты показали, что производительность увеличивается примерно на 29% при новой организации производства при использовании тех же ресурсов. Кроме того, с помощью инструмента OptQuest программного обеспечения Arena™ обнаружено, что при новой организации процесса производительность может быть увеличена на 41% по сравнению с текущим процессом.

Имитационное моделирование является мощной и интерактивной технологией, в которой можно моделировать реальные производственные системы, чтобы понять их поведение, возможные изменения, с его помощью оценивают работу различных стратегий и сценариев производственной системы.

Исследования в работе [19] связаны с моделированием и анализом производительности обувной промышленности для симуляции работы двух сборочных линий. После проверки и верификации разработанной имитационной модели, анализа полученных результатов выявлены проблемы существующей производственной системы. Для их решения разработали возможные сценарии: избежание ненужных дублирующих процессов, объединение однотипных операций с низким ресурсом,

совместное использование и закрепление операции за одним работником, изменение методики работы и т. д. Выбрана комбинация, которая повысила производительность изготовления обуви для определенной модели, а также эффективность производства швейно-сборочных линий с 58,7 до 93,5% и линии компоновки потока сборки обуви с 67,6 до 86,3%.

В настоящее время получены модели и алгоритмы, позволяющие идентифицировать вид текстильного материала по его фотоизображению с точностью до 96,5 %, а также прогнозировать значения жесткости и драпируемости по вводимым характеристикам материалов. Создание технологии оцифровки текстильного материала позволяет осуществить полную цифровую трансформацию процессов производства и реализации одежды.

При разработке цифровой модели использовали технологии искусственного интеллекта: компьютерное зрение, машинное обучение, нейронные сети. Текстильные материалы – сложные объекты, обладающие комплексом свойств, зависящих от их строения, состава, структуры [10].

В работе [20] рассмотрены некоторые аспекты цифровизации индустрии моды и инструменты для ведения производственного процесса текстильных и швейных предприятий путем тренировки нейросети, которая позволяет распознавать переплетения текстильного полотна и классификацию изображений с целью обнаружения дефектов изделия.

Учитывая особенность нейронных сетей обучаться и обрабатывать большой объем набора данных, автор доказал, как перевести производство на качественно новый уровень, который позволит осуществлять мониторинг качества продукции и оптимизировать технологическую схему процесса [20].

Для ведения бизнеса в соответствии с требованиями Индустрии 4.0 предприятия текстильной и легкой промышленности должны обладать автоматизированным оборудованием и программным обеспечением. Лидерами российского рынка в области цифровизации производства является ком-

пания Смарт-Т в сотрудничестве с компаниями Ассоль и Веллес. Ведь только используя информационные технологии, автоматизацию и оптимизацию процессов текстильной и легкой промышленности на всех этапах формирования изделия, начиная с этапа проектирования и заканчивая проверкой дефектов готового изделия, предприятия имеют возможность выпуска качественного, современного, востребованного на рынке и экологически чистого продукта [20].

Конвейерное производство с гибкими настройками в зависимости от потребностей заказчика позволяет сократить производственные потери и повысить эффективность использования производственных мощностей [21].

На предприятиях текстильной промышленности в силу специфики производства целесообразно внедрение технических решений в виде оборудования непрерывного цикла. Примером такого решения может служить полностью автоматизированная линия переработки текстильных отходов LAROCHE SA (лоскуты, обрезь, брак). Программное обеспечение таких поточных линий с комплектом оборудования рыхления, очистки и смешивания позволяет без участия человека обеспечить производство нетканых материалов.

Сопутствующее оборудование для контроля (фильтрационная установка, кипный пресс, замасливатель, конвейерный металлодетектор, трубный металлодетектор) позволяет максимально снизить вероятность возникновения брака [20].

При переходе современных предприятий легкой промышленности к реализации проекта «Умное производство» возникает проблема с трудовыми ресурсами. Скорость изменения внешней среды и условий жизнедеятельности настолько велика, что работники не всегда успевают к ней адаптироваться. С учетом цифровой трансформации работники предприятия должны обладать широким кругом новых цифровых компетенций. Цифровые навыки персонала выступают в качестве необходимого условия инновационного развития предприятий любой сферы деятельности, в том числе текстильной промышленности [22].

С целью более полного удовлетворения потребностей предприятий в кадрах, обладающих цифровыми компетенциями, необходимо совершенствовать подготовку кадров в области цифровизации и применять методы оценки цифровых компетенций. Для этого важно обеспечить создание обучающих программ для формирования новых компетенций у работников. На решение данных проблем направлен проект "Новая модель занятости". Современные крупные компании используют различные оцифрованные образовательные программы и курсы обучения на основе применения онлайн-платформ. Реализация проекта позволит решить проблему низкой производительности труда и нерационального использования трудовых ресурсов [21].

Проблемы высокой доли брака и неадаптивного производства позволят решить проект "Продукция будущего". Основная идея заключается в выстраивании технологической линии, которая позволила бы в очень короткие сроки перенастраивать производственный процесс под запросы конкретного заказчика.

В статье [23] описывается процесс разработки дискретно-событийной имитационной модели швейного производства с учетом его специфических особенностей.

Методику имитационного моделирования, проведение компьютерных экспериментов можно использовать для оптимизации многих задачи в области экономики, существенно улучшая бизнес-процессы предприятий, а прогностические возможности имитационных моделей могут служить незаменимым инструментом в процессе принятия обоснованных управленческих решений [12].

Непосредственной целью использования имитационного моделирования в деятельности предприятий швейной промышленности стала оптимизация трудозатрат как фактор снижения издержек и повышения эффективности производства [23].

Для повышения эффективности деятельности АО «БТК групп» был произведен анализ имитационной модели швейного производства в программной среде AnyLogic.

AnyLogic – инструмент, который предназначен для имитационного моделирования. С помощью данного инструмента можно моделировать, оптимизировать и контролировать поведение системы или предприятия. Данное средство моделирования имеет огромную сферу приложений – от логистики и систем массового обслуживания до транспортных и производственных систем. Этот вид наиболее подходит для моделирования производственных процессов.

Первый анализ привел к пониманию суммарной стоимости работ и общих затрат, а также наиболее трудозатратных и дорогих операций. Второй анализ позволил рассчитать удельный вес полной себестоимости продукции от объема реализации и процент по каждому основному процессу.

Построение начальной модели функционирования швейной фабрики в среде AnyLogic отражает процент загруженности оборудования в реальном времени, а также в ходе эксперимента рассчитываются результирующие переменные трудозатрат и стоимости [23].

Во время проведения эксперимента обнаружена большая очередь на операции выкладки деталей кроя, а также высокая загруженность оборудования (90 %).

С помощью имитационного моделирования удалось снизить стоимость единицы изделия на 94,9 руб. за счет переназначения одного работника с операции «обработка мелких деталей» на операцию «выкладка деталей кроя» и уменьшения нормы времени первой операции на одну минуту, а также изменения числа единиц оборудования, это повысило выпуск изделий по сравнению с исходным и сократило их себестоимость [23].

Привлечение инвестиций в умное производство должно начинаться с представления о конкретных преимуществах и возможностях цифровой трансформации. Умное производство представляет собой переход от традиционной автоматизированной к полностью автоматической и гибкой системе, которая для обучения и адаптации к новым требованиям использует непрерывный поток данных из подключенных операционных и производственных систем [24].

Умное производство можно организовывать различными способами – как в рамках, так и за рамками заводского помещения.

Производители могут начать процесс трансформирования с любого уровня, например, с одной единицы оборудования. С освоением технологии можно масштабировать ее на другие производственные активы и на отдельные производственные линии, далее охватив все предприятие или сеть предприятий. Индивидуальный подход к проработке каждого сценария и ситуации гарантирует, что создаваемая умная фабрика будет отвечать потребностям предприятия.

Существует множество вариантов использования цифровых и промышленных технологий в зависимости от конкретных нужд компании. Компания Deloitte определила набор тех передовых технологий, которые облегчают движение потоков информации между физическими и цифровыми объектами. Эти технологии служат основой для цифровой сети поставок и создают новые возможности для оцифровки производственных процессов.

Для управления производством и техническим обслуживанием, для отслеживания ресурсов, создания цифровых двойников производственного оборудования и других видов деятельности всей производственной сети в рамках единой системы настоящая умная фабрика интегрирует все данные о физических объектах, производственных процессах и человеческих ресурсах. В результате выстраивается более эффективная и гибкая производственная система (smart production system), где все элементы (станки, сборочные линии, складские, логистические и иные модули) объединены в одну коммуникационную сеть для обмена данными между собой. Это позволяет оперативно вносить улучшения во все стадии производственного цикла, снижать производственные издержки и сокращать потери от простаивающего оборудования, оптимизировать управление цепочками поставок и гибко реагировать на любые новые запросы потребителей [24]. Каждый компонент умной фабрики генерирует огромные массивы данных.

Внедряемые на промышленных предприятиях цифровые технологии отличаются большим разнообразием и включают в себя технологии больших данных (Big Data), промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT), искусственный интеллект, машинное обучение, роботизацию, технологию цифровых двойников и др. На предприятиях текстильной промышленности цифровизация осуществляется в рамках технологических и организационно-управленческих бизнес-процессов [22].

Анализ больших данных позволяет выявлять проблемы в производительности оборудования, которые могут потребовать некоторой корректирующей оптимизации. Подобная самокоррекция – это отличительная черта умной фабрики и ее существенное преимущество перед традиционным производством. Способность умной фабрики прогнозировать будущие результаты на основе ранее полученных данных и данных, поступающих в реальном времени, может увеличить время безотказной работы, а также предотвратить проблемы с безопасностью. В систему умной фабрики производители могут интегрировать, к примеру, технологию цифровых двойников, получая возможность оцифровывать операции и выходить за рамки автоматизации и интеграции на уровень возможностей прогнозирования [24].

Как известно, производство кожаной обуви – это токсичные процессы, где человек вдыхает химические испарения, пыль, подвергается шумовым нагрузкам, рискам механических травм [25]. Поэтому одной из задач умной фабрики является обеспечение охраны труда и экологической устойчивости. Эксплуатационная эффективность, обеспечиваемая умной фабрикой, приводит к сокращению негативного воздействия производства на окружающую среду по сравнению с обычным производственным процессом и в целом способствует большей экологической устойчивости [26]. Более высокая степень автоматизации производственных процессов сокращает вероятность человеческой ошибки в различных ситуациях, включая несчастные случаи на производстве.

Наиболее важная черта умной фабрики – это гибкость, которая предоставляет производителям множество вариантов использования цифровых и промышленных технологий в зависимости от конкретных нужд компании. Гибкость позволяет умной фабрике адаптироваться к изменениям графика и самого продукта с минимальным вмешательством.

Все эти функции обеспечивают производителям большую прозрачность в отношении их активов и систем и позволяют им справляться с некоторыми проблемами из тех, с которыми сталкиваются более традиционные производственные структуры, что в конечном счете приводит к повышению производительности и более оперативному реагированию на колебания условий со стороны поставщиков и клиентов [24].

Примером умной обувной фабрики может служить ICOL (ICOL Smart Factory) – это полностью роботизированный производственный процесс, построенный на самых современных решениях в области робототехники, технологиях машинного зрения, искусственного интеллекта, а также собственных инновационных разработках. ICOL Smart Factory – это бесшовная интеграция технологий разработки и производства, позволяющая моментально и безошибочно переходить от разработки новой пары или коллекции к процессу производства [25].

Понятие «фабрика будущего» объединяет в себе три взаимосвязанных направления: «Цифровая фабрика», «Умная фабрика» и «Виртуальная фабрика».

«Цифровая фабрика» – это производство, построенное на основе цифрового моделирования и проектирования кастомизированной продукции от стадии первичного исследования до создания «умного цифрового двойника» изделия, физического опытного образца или небольшой партии.

«Умная фабрика» – это производство, оснащенное современным, высокотехнологичным оборудованием, роботами, датчиками и сенсорами, объединенными в единую систему управления, которая позволяет машинам взаимодействовать друг с другом в рамках промышленного интернета вещей.

«Виртуальная фабрика» представляет собой распределенную сеть цифровых и умных фабрик и поставщиков услуг и компонентов. Объединение всех организационных, технологических и логистических процессов позволяет дополнительно сократить издержки [26].

Виртуальная фабрика подразумевает наличие информационных систем управления предприятием (Enterprise Application Systems, EAS), позволяющих разрабатывать и использовать в виде единого объекта виртуальную модель всех организационных, технологических, логистических и прочих процессов на уровне глобальных цепочек поставок (поставки – производство – дистрибуция и логистика – сбыт – послепродажное обслуживание) и (или) на уровне распределенных производственных активов.

Создание большой экосистемы предприятий текстильной отрасли позволит накопить массив статистических данных о результатах функционирования каждого участника процесса и разработать различные модели межотраслевого взаимодействия, программы поддержки на основе использования технологий обработки больших данных и искусственного интеллекта [21].

В основе процессов находятся интегрированные информационные системы [10]. Наличие единых платформ оказания услуг, в том числе и государственных, при помощи специализированных цифровых сервисов позволит повысить эффективность коммуникаций на всех уровнях управления каждого отдельного предприятия, отрасли и государства в целом. Кроме этого, станет возможным построение траекторий развития, которые позволят формировать адресные программы поддержки предприятий. Цифровая трансформация текстильной промышленности создаст предпосылки к достижению цели технологической независимости. Российские разработки, апробированные предприятиями, получают возможность выйти на рынок современных информационных технологий и программного обеспечения и конкурировать на глобальном рынке. Текстильная отрасль получит ускоренное технологическое развитие и сможет обновить производственные мощ-

ности. В случае необходимости обеспечения безопасности информационного обмена будет применена технология блокчейн [11]. Модернизация процессов управления, в том числе и трудовыми ресурсами, приведет к росту производительности труда и его качеству. Реализация проектов развития текстильной отрасли позволит увеличить количество рабочих мест, переквалифицировав их в высокотехнологичные, использующие достижения в сфере цифровизации. Производимая высокотехнологичная продукция будет соответствовать эстетичным, эргономичным, экологичным требованиям, требованиям качества и комфортности. Возможность быстрой адаптации к меняющейся внешней среде и моде увеличит загрузку оборудования. Виртуальные испытания и моделирование продукции и процессов позволят сократить период разработки продукции и обеспечат выход ее на рынок в короткие сроки, необходимые для обеспечения повышенного уровня продаж. Данный подход и результаты работы современных предприятий текстильной промышленности могут существенно увеличить внутренний спрос и создать армию потребителей отечественной продукции.

ВЫВОДЫ

Цифровая трансформация текстильной и легкой промышленности создаст предпосылки к достижению цели технологической независимости.

Имитационное моделирование является мощным инструментом, с помощью которого можно оценить различные сценарии работы производственной системы, так как от обеспечения правильных параметров зависит полный цикл производства и готовый продукт.

Развитие цифрового производства в текстильной и легкой промышленности при наличии соответствующего материального обеспечения способствует переходу предприятий на качественно новый уровень.

Применение имитационного моделирования для анализа и совершенствования процессов производства обуви является актуальным как для научных исследований, так и для практической реализации.

1. Какие бывают предприятия легкой промышленности? // 2022. – <https://текстиль.онлайн/articles/predpriyatija-legkoj-promyshlennosti-kakie-byvajut/>
2. Поддержка легкой промышленности в 2022 году // 2022. – <https://текстиль.онлайн/articles/podderzhka-legkoj-promyshlennosti/>
3. ROIF Expert. Рынок обуви в России 2022 (с данными 2022 года), прогнозы и тенденции: максимизация товарного выпуска // 2022. – <https://vc.ru/u/406653-roif-expert/501012-rynok-obuvi-v-rossii-2022-s-dannymi-2022-goda-prognozy-i-tendencii-maksimizaciya-tovarnogo-vypuska>
4. Пресс-служба Департамента инвестиционной и промышленной политики города Москвы // 2023. – <https://www.mos.ru/news/item/120754073/>
5. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. М.: АльянсПринт, 2020. 401 с.
6. Технологии Индустрии 4.0: аддитивное производство. Круглый стол: Компоненты Индустрии 4.0: аддитивное производство // Rational Enterprise Management / Рациональное управление предприятием). 2021. №2. С. 34...48.
7. План мероприятий («дорожная карта») «Технет 4.0» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы. СПб., М., 2020. 235 с.
8. Ловкова Е.С., Кашицына Т.Н., Филимонова Н.М. Потенциал текстильной промышленности для перехода и развития на Индустрию 4.0 // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 5...11. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_5. – EDN KTRPA.
9. Алексеенко Л.Д., Щербакова Н.В. Моделирование ритмичной работы технологического оборудования на примере обувного предприятия // Известия вузов. Серия: Технические науки. 2013. №5. С. 96...98.
10. Долгова Е.Ю., Чижик М.А. Многофункциональная цифровая модель текстильного материала // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3(405). С. 183...187. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_3_183. – EDN GQUUZF.
11. Обзор стратегий по «Индустрии 4.0» // Фармацевтическая отрасль. 2018. № 5. С. 64...69.
12. Гусева Е.Н., Варфоломеева Т.Н. Применение имитационных моделей для решения экономических задач оптимизации // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. – <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16305> (дата обращения: 06.03.2023).
13. Subramanian A.K. Cell loading and scheduling in a shoe manufacturing company. 2004, Ohio University: Lancaster. p. 130.
14. Zangiacomì, A. et al. Process planning and scheduling for mass customized shoes manufacturing // International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2004, 17(7), p. 613...621.
15. Parwananta H. Branch and bound method for solving resource-constrained assembly line balancing problem in footwear sewing line, in Industrial Management. 2012, National Taiwan University of Science and Technology: Taipei.
16. Eryilmaz, M.S. et al. Analysis of shoe manufacturing factors by simulation of production processes. Southeast Europe Journal of Soft Computing, 2012, 1, p. 120...127.
17. Chen J.C., Putra A.P., Anggono N., Jeff. Chen, Yung-Sheng Su. Simulation Modeling and Analysis for Stitching Line of Footwear Industry, Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bali, Indonesia, January 7 – 9, 2014.
18. Calderon-Andrade R., Hernandez-Gress E.S., Montufar Benitez M.A. Productivity Improvement through Reengineering and Simulation: A Case Study in a Footwear-Industry, Applied Sciences, 2020.
19. Temesgen G.A., Nahom M. Modeling and Performance Analysis of Manufacturing Systems in Footwear Industry, A Peer-reviewed Official International Journal of Wollega University, Ethiopia, 2014.
20. Ибатуллина А.Р., Красина И.В., Бронская В.В. Аспекты применения инструментов цифровизации в текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 261...266. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_261. – EDN LYWTCN.
21. Ларионов В.Г., Шереметьева Е.Н., Балановская А.В. Векторы цифровой трансформации текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 12...20. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_12. – EDN LQOWEU.
22. Морозов М.А., Морозов М.М. Цифровые компетенции персонала как инструмент повышения инновационности предприятия // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 292...298. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_292. – EDN RTVXTS.
23. Кузьмин П.И., Мищенко И.К., Ощепков М.Е. Использование имитационного моделирования для повышения эффективности швейного производства // Известия Алтайского государственного университета. 2020. № 1(111). С. 105...110. – DOI 10.14258/izvasu(2020)1-17. – EDN XGBKVM.
24. Хитрых Д. Индустрия 4.0: мир связанных «умных» предприятий и производственных экосистем // 2020. – <https://sapr.ru/article/26115>
25. Умные обувные фабрики // 2017. – https://humatheaq.com/design/other_cases/shoe-smart-factory

R E F E R E N C E S

1. What are the enterprises of light industry? // 2022. – <https://textile.online/articles/predpriyatija-legkoj-promyshlennosti-kakie-byvajut/>

2. Support light industry in 2022 // 2022. – <https://textile/online/articles/podderzhka-legkoj-promyshlennosti/>
3. ROIF Expert. The shoe market in Russia 2022 (with 2022 data), forecasts and trends: the maximization of the product release // 2022. – <https://vc.ru/u/406653-roif-expert/501012-rynok-obuvi-vvrossi-2022-s-danny-2022-goda-prognozy-tendencii-makzaciya-varnovypuska-simi>
4. Press Service of the Department of Investment and Industrial Policy of the City of Moscow // 2023. – <https://www.mos.ru/news/item/120754073/>
5. Prokhorov A., Lysachev M. Scientific editor Professor Borovkov A. Digital twin. Analysis, trends, world experience. First edition, corrected and expanded. M.: AI-YansPrint LLC, 2020. 401 p.
6. Industry Technologies 4.0: Additive Production. Round Table: Indus Stream Components 4.0: Additive Production // Rational Enterprise Management / Rational management of enterprise), 2/2021, p.34...48.
7. Action plan («road map») «Technet 4.0» (advanced production technology) National technological initiation - you. SPb., M., 2020. 235 s.
8. Lovkova E.S., Kashitsyn T.N., Filimonova N.M. The potential of the textile industry for transition and development to industry 4.0 // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. 2(398). P. 5...11. - DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_5. - EDN KTRPA.
9. Alexeenko L.D., Shcherbakova N.V. Models of rhythmic work of technological mining on the example of footwear enterprise // Izvestia universities. Series: Technical Sciences. 2013. 5 P. 96...98.
10. Dolgova E.Y., Chizhik M.A. Multifunctional digital model of textile material // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. 3(405). P. 183...187. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_3_183. - EDN GQUZF.
11. Review of Strategies for «Industry 4.0». The Pharmaceutical Industry, 2018, 5, p. 64...69.
12. Guseva E.N., Varfolomeeva T.N. Application of simulation models for solving economic problems of optimization // Modern problems of science and education. 2014. 6. – <https://science-education.ru/ru/article/viewid/16305> (date of circulation: 06.03.2023).
13. Subramanian A.K., Cell loading and scheduling in a shoe manufacturing company. 2004, Ohio University: Lancaster. p. 130.
14. Zangiacomì A. et al. Process planning and scheduling for mass customized shoes manufacturing // International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2004, 17(7), p. 613...621.
15. Parwananta H. Branch and bound method for solving resource-constrained assembly line balancing problem in footwear sewing line, in Industrial Management. 2012, National Taiwan University of Science and Technology: Taipei.
16. Eryilmaz M.S. et al. Analysis of shoe manufacturing factors by simulation of production processes. Southeast Europe Journal of Soft Computing, 2012, 1, p. 120...127.
17. Chen J.C., Putra A.P., Anggono N., Jeff. Chen, Yung-Sheng Su. Simulation Modeling and Analysis for Stitching Line of Footwear Industry, Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bali, Indonesia, January 7 – 9, 2014.
18. Calderon-Andrade R., Hernandez-Gress E.S., Montufar Benitez M.A. Productivity Improvement through Reengineering and Simulation: A Case Study in a Footwear-Industry, Applied Sciences, 2020.
19. Temesgen G.A., Nahom M. Modeling and Performance Analysis of Manufacturing Systems in Footwear Industry, A Peer-reviewed Official International Journal of Wollega University, Ethiopia, 2014.
20. Ibatullina A.R., Krasina I.V., Bronskaya V.V. Aspects of applying digitalization tools in the textile and light industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. 2(398). P. 261...266. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_261. – EDN LYWTCN.
21. Larionov V.G. Sheremetyeva E.N., Balanovskaya A.V. Vectors of the digital transformation of the textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. 2(398). P. 12...20. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_12. – EDN LQOWEU.
22. Morozov M.A., Morozov M.M. Digital personnel competencies as a tool for increasing the innovativeness of an enterprise // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. 2(398). P. 292...298. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_292. – EDN RTVXTS.
23. Kuzmin P.I., Mishenko I.K., Oshchepkov M.E. Use of simulation-based modeling to increase the efficiency of sewing production // Izvestia Altai State University. 2020. 1(111). P. 105...110. – DOI 10.14258/izvasu (2020)1-17. – EDN XGBKVM.
24. Slyth D. Industry 4.0: the world of connected «smart» enterprises and production ecosystems // 2020. – <https://sapr.ru/article/26115>
25. Smart Shoe Factories // 2017. – https://humatheq.com/designer_cases/shoe-smart-factory

Рекомендована кафедрой энергоресурсоэффективных технологий, промышленной экологии и безопасности РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 07.11.23.