

На правах рукописи

Килимова Анна Дмитриевна

**ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОРГАНИЗАЦИИ  
ПРОИЗВОДСТВА В ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО  
ИНТЕЛЛЕКТА**

Специальность: 05.02.22 - организация производства  
(текстильная и легкая промышленность)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург  
2022

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

Научный руководитель: **Будагов Артур Суменович** доктор экономических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университета аэрокосмического приборостроения», заведующий кафедрой информационных технологий предпринимательства

Официальные оппоненты: **Рымкевич Павел Павлович**, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского» Министерства обороны РФ, профессор кафедры физики

**Шиков Алексей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, Северо-Западный институт управления федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», доцент кафедры бизнес-информатики

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет»

Защита диссертации состоится 22 сентября 2022 года в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 212.236.07 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18, зал заседаний Ученого совета - ауд. 437.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18, <http://www.sutd.ru>

Автореферат разослан \_\_\_ августа 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук, доцент

Переборова Нина Викторовна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Стратегия развития промышленности Российской Федерации до 2035 года нацелена, в частности, на активное наращивание масштабов легкой промышленности. К ключевым факторам развития отрасли отнесены: поддержание конкурентоспособности производства и создание современных цифровых решений, обеспечивающих гибкость технологических процессов.

Для большинства промышленных предприятий, в период активной государственной поддержки инновационной деятельности, становится исключительно важным добиваться результатов. Первостепенной задачей является устойчивый и уверенный рост. Именно поэтому особую значимость приобретают вопросы трансформации технологий организации производства, в частности, при помощи внедрения информационных технологий.

Одним из перспективных направлений, в рамках рассматриваемого вопроса, является использование технологий искусственного интеллекта (ИИ) и внедрение методов машинного обучения.

Трансформация технологий организации производств сводится не только к использованию методов ИИ на производствах. Она включает в себя применение инновационных материалов, компьютеризацию отрасли, использование систем автоматизированного проектирования одежды (САПР) и корпоративных систем управления (КИС), позволяющих осуществлять управление производственными процессами внутри одной программной среды.

В рамках реализации новых технологий в области моды агентством стратегических инициатив и Национальной палатой моды разработана Концепция FASHIONNET, которая предполагает рост рынка российских брендов внутри страны, а также увеличение их веса в глобальной индустрии. Среди тенденций развития организации производства – автоматизация стандартных процессов на каждой стадии жизненного цикла, в том числе на стадиях дизайна и проектирования. Дизайн будущего включает в себя такую новую профессию как технолог цифрового проектирования и производства.

Сегодня в круг задач технолога на швейном производстве входит составление технологических карт для пошива моделей одежды. В будущем эта задача должна быть автоматизирована для того чтобы снизить затраты времени, уменьшить вероятность ошибок и упростить работу. Для этого необходимо специальное программное обеспечение, способное предлагать последовательно необходимые технологические операции и выдавать результаты на основе введенных данных.

Для достижения актуальных целей предлагается: внедрение методов искусственного интеллекта в технологический процесс швейного производства, применение разработанной экспертной рекомендательной системы для увеличения объемов и качества продукции.

Предложенная для разработки система способна оптимизировать производственные процессы и упростить задачи разработки новых моделей одежды, а благодаря использованию методов искусственного интеллекта станет возможным рекомендация технологических операций по ключевым словам, а впоследствии, и по техническим рисункам.

**Степень научной разработанности проблемы.** Вопросами научного обоснования процессов модернизации предприятий текстильной и легкой промышленности занимались следующие ученые: Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова

Н.С., Литвинов А.М., Макарова А.А., Луканин П.В., Переборова Н.В., Титова М.Н. и др.

Использованию информационных технологий в производственных процессах посвящены труды следующих отечественных ученых: Андреевой Е.Г., Гетманцевой В.В. и др., применению искусственного интеллекта на швейных производствах посвящены труды: Пименова В.И., Калиновской И.Н., Завьяловой А.О. и др.

Трансформация производственных процессов, в частности, может быть основана на использовании экспертных систем.

Труды по внедрению таких систем в технологию производства публиковали: Weldeleslasie D., Ahmed M., Müller R., Hörauf L., Burkhard D., Niccolai A., Caputo D., Chieco L. и отечественные ученые: Козлова Т.Д., Дунаев М.П., Кызылбаева Э.Ж., Омарова А.М., Буров А.Н., Козлов А.В., Пакшвер Э.А. и др.

**Цель диссертационного исследования** состоит в решении научной задачи разработки нового метода интеллектуализации процесса составления технологических карт и реинжиниринга проектирования новых моделей одежды на предприятиях текстильной и легкой промышленности.

Поставленная цель определяет следующие **задачи**:

- исследовать технологические последовательности, разработать теоретические основы больших данных швейного производства и сформировать структуру данных для обучения нейросети;

- разработать архитектуру экспертной рекомендательной системы и базовый алгоритм обработки информации;

- разработать экспертную рекомендательную систему для создания индивидуализированных технологических карт швейного производства легкой промышленности;

- проанализировать характерные для предприятий отрасли задачи компьютеризации производственных процессов;

- разработать концепцию экспертной рекомендательной системы;

- произвести апробацию полученных результатов диссертационного исследования на предприятиях текстильной и легкой промышленности г. Санкт-Петербурга.

**Методология и методы исследования** базируются на общенаучных подходах интеллектуального анализа данных, группировки и сравнения, автоматизации проектирования, визуализации информации. Используются основы теории информации, теория и методы решения задач оптимизации, теория и технологии применения интеллектуальных систем, баз данных и программирования. Полученные результаты основаны на внедрении современных методов работы с данными внутри компьютерных и информационных систем.

**Соответствие диссертации Паспорту научной специальности.**

Диссертационная работа выполнена в рамках Паспорта научной специальности 05.02.22 – Организация производства (текстильная и легкая промышленность) ВАК Минобрнауки РФ и соответствует следующим его областям исследования:

3. Разработка методов и средств информатизации и компьютеризации производственных процессов на всех стадиях.

4. Оптимизация производственных процессов. Экспертные системы в организации производственных процессов.

7. Анализ и синтез организационно-технических решений. Стандартизация, унификация и типизация производственных процессов и их элементов. Организация ресурсосберегающих производственных систем.

11. Разработка средств управления производственными процессами и их результатами.

**Научная новизна работы:**

Разработана векторно-событийная модель цифровой обработки потока данных швейного производства, контролирующая процесс ритмичности и сроки выполнения заказов.

Разработан компьютерный алгоритм цифровой нейросети на основе экспертной рекомендательной системы организации швейного производства.

Разработан технологический процесс управления производственными данными, с целью обучения нейросети.

Разработан цифровой метод обработки информации экспертной рекомендательной системы для технологии проектирования швейных изделий и их производства.

Разработаны структуры цифровых данных, формирующие решающие компоненты экспертной системы и адаптирующие возможности нейросети к особенностям организации швейного производства.

Разработан программный комплекс составления технологических карт на стадии организации швейного производства, решающий задачи, связанные с компьютеризацией отрасли для ускорения производственных процессов.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключаются в:

- разработке методов искусственного интеллекта при организации швейного производства;

- разработке архитектуры экспертной системы, для создания базового алгоритма обработки информации внутри производственного учета;

- разработке методов создания индивидуальных технологических карт на основе возможностей экспертных рекомендательных систем.

Разработанные алгоритмы и программные комплексы были использованы в учебном процессе и в научных исследованиях в ФГАОУ ВО СПбГУАП.

**Положения, выносимые на защиту:**

- разработанная векторно-событийная модель, контролирующая процесс ритмичности и сроки выполнения заказов;

- разработанный компьютерный алгоритм создания экспертной рекомендательной системы, использующей возможности нейросети для оптимизации документов организации производства;

- разработанный технологический процесс управления данными швейного производства, с целью обучения нейросети;

- разработанный цифровой метод обработки информации экспертной рекомендательной системы для технологии проектирования и изготовления швейных изделий;

- разработанные структуры цифровых данных, формирующие компоненты экспертной системы и адаптирующие возможности нейросети к особенностям организации швейного производства;

- разработанный программный комплекс составления технологических карт на стадии организации швейного производства, решающий задачи, связанные с компьютеризацией отрасли для ускорения производственных процессов.

**Степень достоверности результатов.**

Разработанная экспертная рекомендательная система, применяемая для организации производственного процесса составления технологических карт, прошла практическую апробацию на предприятиях текстильной и легкой промышленности г.

Санкт-Петербурга: «МОМ+МЕ», ООО «Фабрика «Алез», ООО «Геомикс», где подтвердила свою значимость и была рекомендована к использованию на других предприятиях легкой промышленности.

### **Апробация работы**

Результаты диссертационной работы докладывались на IX Международной научно-практической конференции «Наука и техника: новые вызовы современности» (НОП «Цифровая наука», 2022); V Международной научно-практической конференции «Энергетика и автоматизация в современном обществе» (СПб, СПбГУПТД ВШТЭ, 2022), где были отмечены дипломом II степени в номинации «Креативная идея».

**Публикации.** По материалам работы опубликовано 11 статей, в том числе 4 статьи в журналах из перечня ВАК Минобрнауки РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы (78 наименований) и приложений. Основное содержание диссертации изложено на 117 страницах. Содержит 32 рисунка и 2 таблицы.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** сформулирована актуальность темы диссертационного исследования, цели и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

**В первой главе представлен** обзор современного состояния, проблем и перспектив развития отечественных производств легкой промышленности, средств и методов автоматизации процессов. Обосновывается необходимость внедрения новых технологий, компьютеризации и автоматизации производства, применения технологий искусственного интеллекта.

Описывается состав подотраслей легкой промышленности и ее потребителей. Обосновывается важность решения задач цифровизации и компьютеризации отрасли через внедрение инновационных продуктов для устойчивого развития и экономической стабильности производств, благодаря чему ожидается увеличение скорости работы производства и снижение себестоимости товара.

В рамках работы над технологическим улучшением и ускорением процесса производства товара необходимо следить как за грамотной организацией труда, так и за оптимизацией управленческих решений, которые невозможно выполнять без сбалансированного распределения нагрузки между работниками и отслеживанием коэффициента загрузки оборудования.

Рассматривается возможность автоматизации процесса составления технологических схем разделения труда в программе Access вместо устаревшего и неэффективного на сегодняшний день способа решения этой задачи в MS Excel.

Также в главе 1 представлена характеристика и анализ существующих технологий компьютеризации и автоматизации производства в области легкой промышленности на примере использования программного обеспечения «1С: Зарплата и управление персоналом 8» «1С:ERP Управление предприятием», а также программных комплексов «Julivi» от российского разработчика САПРЛЕГПРОМ и «Технолог-Нормировщик швейного производства» от разработчика ООО СП «Игла».

Сделан вывод, что даже при частичном удовлетворении потребностей предприятия готовым решением, в большинстве случаев оно требует дополнительных финансовых и человеческих ресурсов для адаптации под особенности процессов производства.

Финансовые затраты на адаптацию готового решения часто сопоставимы с разработкой своего собственного решения без лишнего универсального функционала готового решения. Также описано преимущество использования станков с числовым программным управлением.

Результативность применяемого метода цифровизации промышленных предприятий определяется устранением препятствующих факторов, а также постепенным процессом перехода к цифровому способу производства.

В рамках рассматриваемого исследования автором обоснована актуальность разработки экспертной рекомендательной системы. Данная система позволяет эффективно выполнять задачи составления технологических карт при помощи интеллектуального поиска технологических операций, основываясь на базе экспертных знаний. Также проанализированы и представлены тенденции развития организации производства.

**Во второй главе** описаны возможности использования, сложности внедрения искусственного интеллекта на производства, а также угрозы, являющиеся замедляющим фактором при принятии решения об его использовании. Также подробно рассматриваются потоки данных, которые есть на швейном производстве и которые могут использоваться как входные данные для обучения нейросети.

Рассмотрены теоретические основы внедрения технологий искусственного интеллекта в швейной и легкой промышленности, а также потоки данных на производстве, которые можно связать со следующими производственными процессами:

- производство продукции;
- логистика;
- маркетинг;
- бухгалтерия;
- трудовые ресурсы;
- закупки;
- склад;
- контроль качества сырья и выпущенной продукции;
- проектирование продукции/разработка новых моделей;

Представлена схема потоков информации в швейном производстве (рис. 1).

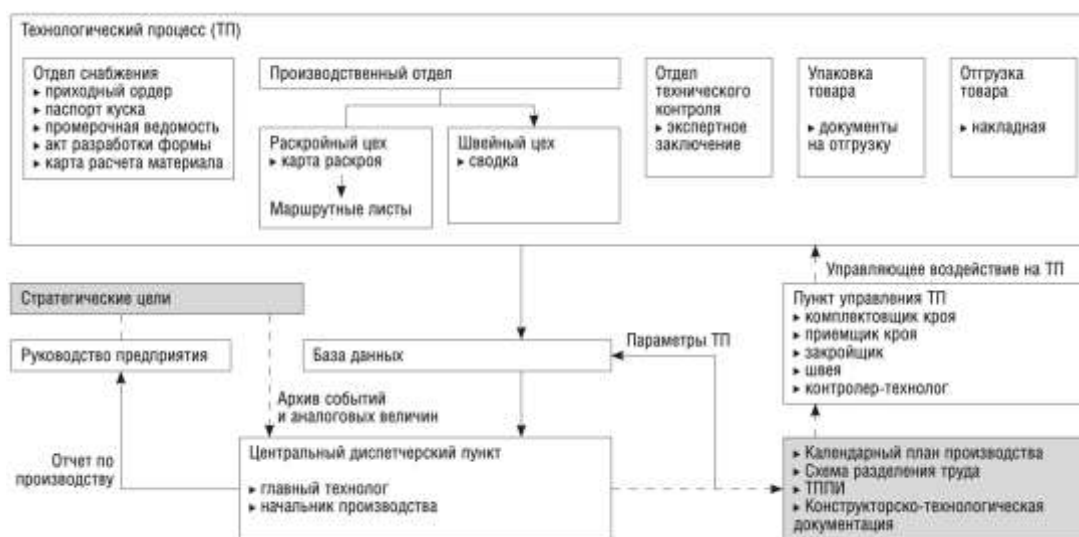


Рисунок 1. Схема потоков информации в швейном производстве

Приводится градация классов производственных данных, поскольку они являются специфичными и уникальными для разных сфер деятельности.

*К основным классам производственных данных в швейной промышленности относятся:*

- схемы разделения труда;
- технологические последовательности пошива отдельных единиц одежды;
- технологические последовательности пошива отдельных элементов одежды;
- календарный план производства;
- конструкторско-технологическая документация:
  - технический эскиз;
  - техническое описание модели с техническими условиями и характеристикой ее конструкции;
  - конфекционная карта, содержащая образцы всех материалов и фурнитуры;
  - спецификация деталей кроя, основочных и подсобных лекал;
  - таблица измерений изделия и лекал;
  - карта расхода материалов;
  - схема раскладки лекал;
  - модульные карты со сборочными чертежами узлов изделия;
  - маркировка и описание упаковки готовых изделий;
  - памятка по уходу за изделием;
  - требования к раскрою и пошиву рассматриваемого изделия;
  - требования к пошиву данного изделия с нюансами обработки.

*Кроме того, при использовании на швейном производстве САПР этот список дополняется:*

- лекалами;
- таблицами размеров;
- расходом ткани;
- необходимыми материалами и их наличием;
- данными с датчиков.

Таким образом, циркулирующие потоки данных имеют разнонаправленный характер (большие данные, аналоговые, цифровые, графические, текстовые) и нуждаются в курировании.

Предложена информационная модель и обоснована необходимость централизации процесса управления качеством данных на производстве, в связи с чем разработана векторно-событийная модель данных организации швейного производства для анализа и прогнозирования информационного потока в легкой промышленности.

Предложенная модель необходима для организации обработки цифровых данных и конструктивна для описания информационных процессов в системе менеджмента качества в легкой промышленности. В рамках этой главы необходимо понимать значение понятий цифровая запись качества и интегрированный технологический паспорт качества.

*Цифровая запись качества (ЦЗК)* – это запись в памяти компьютера, сделанная оператором, либо запись показателей датчиков, которые несут в себе оценку качества и состояния того или иного этапа технологического процесса при производстве продукта в определенный временной период.



Множество последовательных записей (ЦЗК), описывающих основные этапы управления производством, называется *интегрированным технологическим паспортом качества* (ИТПК).

Когда объект встречается с контролером качества в ИТПК появляется дополнительная информация и осуществляется процесс ее приращения (рис. 2).

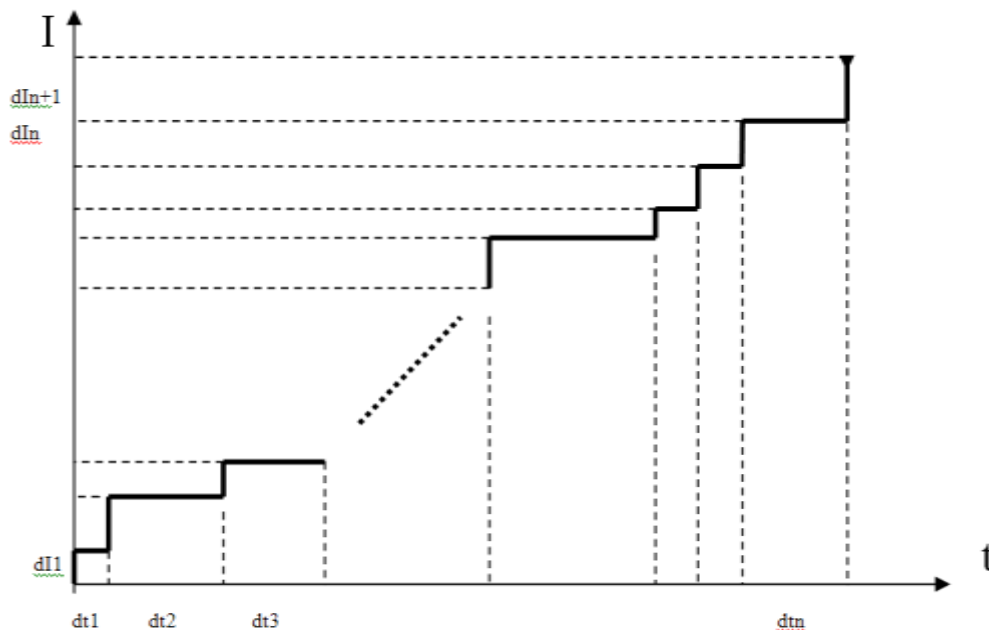


Рисунок 2. Функция распределения информации о жизненном цикле объекта

На рисунке 3 представлено ограниченное временное пространство, содержащее упорядоченные ЦЗК всех текущих объектов производства (рис. 3).

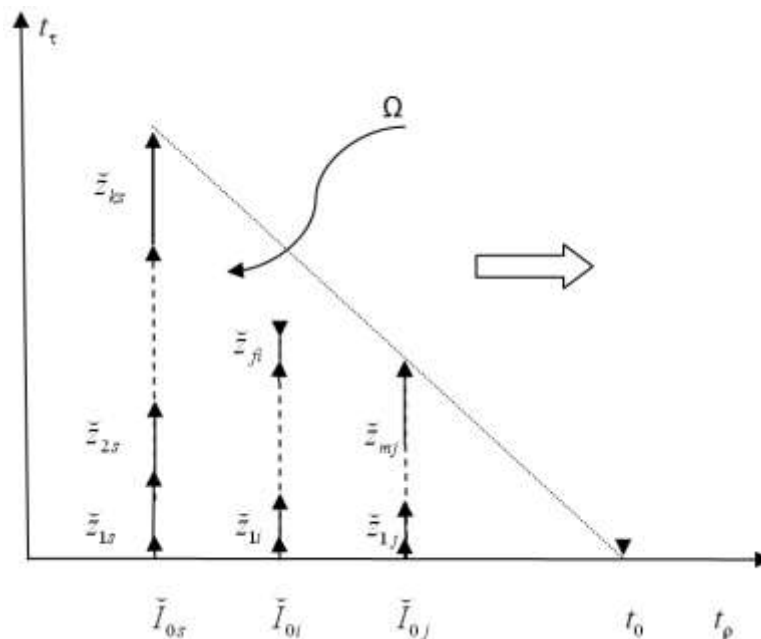


Рисунок 3. Модель событий базы ИТПК

ИТПК рассматривается как множество векторов ЦЗК, отражающих состояние объекта и постоянно пополняемых системой контроля качества. ЦЗК появляются в системе мониторинга с возникновением первой записи об объекте, которая обладает своим информационным наполнением и, соответственно, своим количеством бит,

нужных для того чтобы обеспечить хранение записи в памяти ПК. Таким образом, количество бит будут отражать определенный размер проекции на информационно-временную плоскость  $I \cdot T_p$  (см. рис. 4).

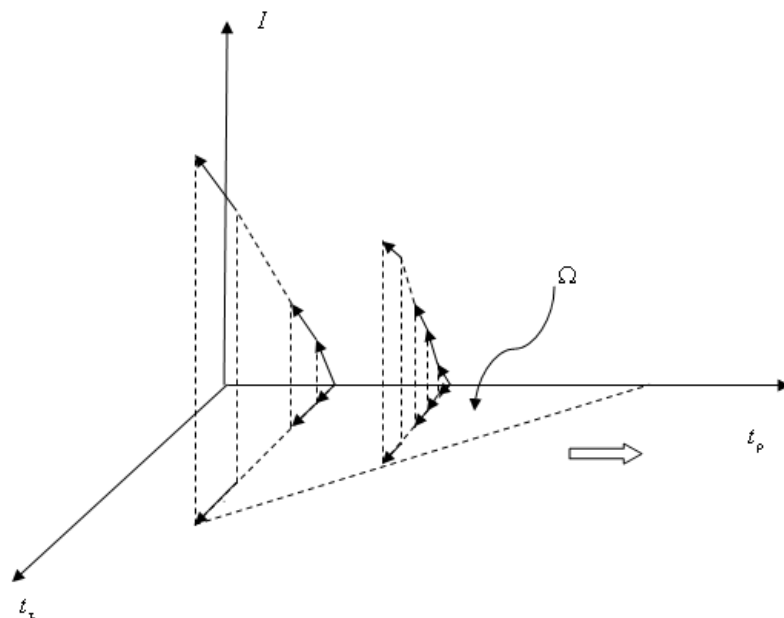


Рисунок 4. Информационная модель базы ИТПК

Разработанная динамическая модель потока данных позволяет доступно описать процесс сбора и обработки цифровых записей качества в сфере легкой промышленности, представить для автоматизированной обработки набор данных, необходимый для информационной поддержки экспертных рекомендательных систем и раннего обнаружения дефектов производства.

В результате анализа современных источников в сравнении с опытом прошлых лет стало понятно, что внедрение ИИ не только может быть причиной потери рабочих мест, но и основанием для появления новых профессий, как правило более высокотехнологичных и высокооплачиваемых.

Введено и обосновано понятие «экспертная рекомендательная система» в контексте решения исследуемой научной задачи, сформулирована актуальность ее разработки исходя из современных производственных условий.

**В третьей главе** описан процесс разработки экспертной рекомендательной системы для составления технологических последовательностей, которая позволяет снизить вероятность ошибок из-за человеческого фактора, сократить рутинные операции, повысить удобство работы технолога.

В то же время в рамках Концепции дорожной карты внедрение этой программы позволит в будущем развиваться новой профессии – технолог цифрового проектирования и производства.

**Экспертная рекомендательная система (ЭРС)** является совокупностью двух основных подсистем, обеспечивающих взаимодействие механизма обучения нейросети со структурированной базой знаний, в результате работы которых, система может принимать пользовательские запросы, а затем предоставлять релевантные результаты, подлежащие дальнейшей обработке оператором.

Описаны этапы разработки экспертной рекомендательной системы и алгоритм ее имплементации (рис. 5).



Рисунок 5. Алгоритм имплементации экспертной рекомендательной системы

Процесс обучения нейросети предполагает предварительную типизацию данных то есть подготовку исходных последовательностей технологических процессов аналогового и цифрового типа в виде структуры данных, с которой нейросеть будет взаимодействовать.

В результате процесса типизации выявляются наиболее часто встречающиеся варианты сочетаний технологических процессов, которые будут являться основой для составления технологических карт.

Также при подготовке данных для обучения нейросети требуется произвести анализ технологических последовательностей и технологических описаний моделей одежды, чтобы на основе этой информации выделить ключевые слова.

Число конструктивных параметров основных деталей, далее используемых в качестве ключевых слов, может составить значительное количество (15-30 слов).

Также необходимо сформировать структуры данных, состоящие из базовых сущностей, и затем, на их основе, создать базу данных. Рассмотрим это на примере сущности **Операция** (рис. 6, 7).

Сущность – это объект состоящий из ключей и значений, где ключи это названия полей объекта, а значения – информация о технологическом процессе (табл. 1).

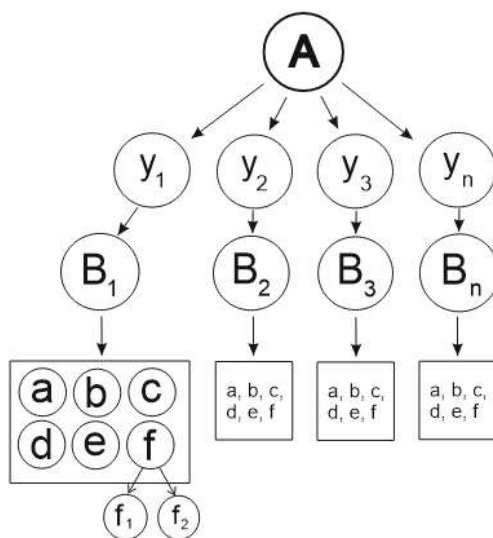


Рисунок 6. Структура данных на основе базовой сущности «Операция»

Таблица 1. Описание сущности «Операция»

Ключ	Тип значения	Описание значения
operationName	строка	имя операции
workType	строка	вид работы
workGrade	число	разряд работы
workTime	число	ожидаемое время работы
equipment	строка	оборудование
keyword	строка	ключевое слово



Рисунок 7. Базовая сущность Операция

Следующая базовая сущность упорядоченного массива это **Соответствие**. Сущность представляет собой объект состоящий из двух ключей – input и output. В большинстве случаев алгоритм процесса обучения нейросети сводится к подстановке специальным образом нормализованных и подготовленных входных и выходных данных.

Рекуррентная нейронная сеть (РНС) – это разновидность нейронной сети, в которой соединения элементов формируют направленную последовательность. Благодаря способности рекуррентных сетей анализировать контекст и искать взаимосвязь слов и предложений, а также запоминать порядок слов, они могут на основе пользовательских примеров текстов записывать целые предложения. Именно поэтому РНС были выбраны для реализации поставленных задач.

Внутренняя память рекуррентных сетей может быть использована для переработки последовательностей различной длины. С каждой итерацией данные попадают на выходной слой в строгом соответствии с установленными обучающими правилами. В контекстных блоках сохраняются предыдущие значения скрытого слоя, прежде чем он поменяет значение в ходе обучения.

На этапе, когда структура данных определена, процесс подготовки данных заканчивается, после чего можно приступать непосредственно к процессу разработки

системы. Процесс обучения нейросети предполагает наличие базы данных с заранее определенной структурой данных внутри нее.

Для более эффективного взаимодействия пользователя с экспертной системой была разработана клиентская и серверная части (рис. 8, 9).

```
21 const operationsExamples = ["рукав", "накладной карман", "пуговицы"];
22
23 const OperationSearch = () => {
24   const {
25     //
26     searchQuery,
27     searchResultGrouped,
28     todoGrouped,
29   } = useSearch();
30
31   return (
32     <>
33     <Search
34       onMouseLeave={() => {
35         setSearchResult([]);
36       }}
37     >
38     <SearchInput value={searchQuery} onChange={setSearch} />
39     <SearchResults>
40       {searchResultGrouped.map((operation) => (
41         <Row
42           key={operation.name}
43           operation={operation}
44           isExist={todoGrouped
45             .map(({ name }) => name)
46             .includes(operation.name)}
47         >
48       ))}
49     </SearchResults>
50   </>
51 )
```

Рисунок 8. Код главной страницы экспертной рекомендательной системы реализованной при помощи JavaScript и фреймворка React

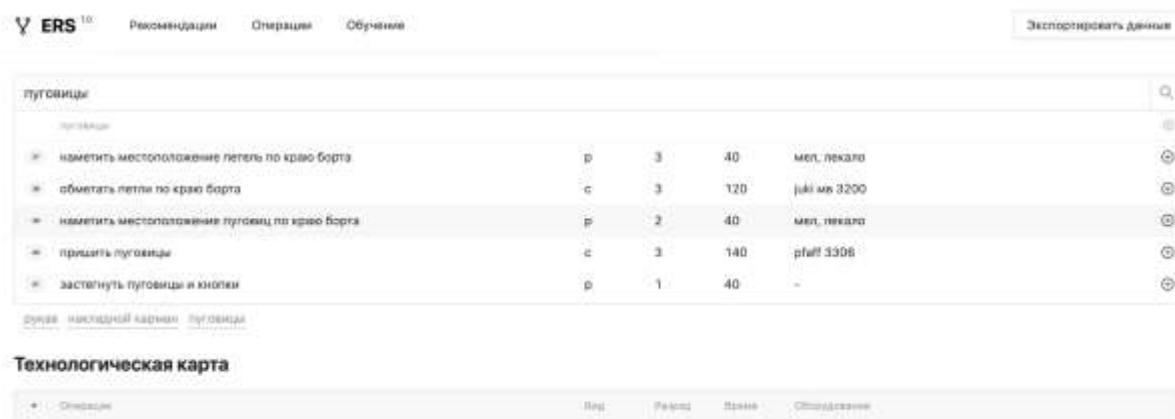


Рисунок 9. Интерфейс экспертной рекомендательной системы

В качестве интерфейса взаимодействия с системой был выбран веб-интерфейс, основное преимущество которого заключается в том он не зависит от стороннего программного обеспечения, что позволяет запускать его на любых устройствах, операционных системах и браузерах. Это делает систему более гибкой и, в том числе, избавляет от необходимости импортозамещения, в связи со сложившейся на сегодняшний день ситуацией. Современные web-интерфейсы должны быть интуитивно понятны и обладать высокой скоростью загрузки. Поэтому для разработки web-интерфейса был выбран высокоуровневый язык JavaScript (с использованием библиотеки React), который сегодня также является инструментом для создания серверной части (на платформе NodeJS). Также JavaScript поддерживает все популярные браузеры, в том

числе и устаревшие. Для работы рекуррентной сети на стороне сервера была выбрана библиотека с открытым исходным кодом – Brain.js. Данная библиотека, благодаря простому и функциональному API, легко справляется с задачей создания и обучения нейросети.

При использовании экспертной рекомендательной системы процесс составления технологической карты будет выглядеть следующим образом:

1. изучение технического рисунка модели одежды, обсуждение его с дизайнером или художником по костюму;
2. разработка технологического описания модели одежды;
3. обозначение основных конструкций и элементов одежды, которые будут являться ключевыми словами для системы;
4. ввод ключевых слов в интерфейс пользователя, получение результата от системы;
5. проверка выданной системой технологической карты, при необходимости, добавление новых операций или изменение их порядка.
6. вывод результата на печать.

Благодаря подробно описанному руководству пользователя, даже человеку с начальным уровнем знания ПК будет легко обучиться использованию системы для выполнения рабочих задач.

Использование экспертной рекомендательной системы позволит технологу:

1. обеспечить взаимодействие с базой экспертных знаний;
2. обеспечить взаимодействие с рекомендательной системой в основе которой находится ИИ;
3. повысить эффективность деятельности на этапе проектирования моделей одежды, за счет уменьшения количества рутинных операций;
4. получить сводную информацию о технологической карте и содержащихся в ней технологических процессах.

**В четвертой главе** представлены оценки ожидаемых и полученных результатов, описаны результаты практического применения экспертной рекомендательной системы на предприятиях легкой промышленности.

Разработанная экспертная рекомендательная система была успешно внедрена на швейные производства Санкт-Петербурга: «МОМ+МЕ», ООО «Фабрика «Алез», ООО «Геомикс», что подтверждается актами о практическом внедрении.

В результате практического внедрения конструкторами и начальниками цехов было отмечено, что все поставленные задачи достигнуты. Наблюдается снижение трудозатрат, в среднем, в 4 раза. Благодаря чему технолог может за то же время сделать большее количество технологических карт, а, значит, наблюдается экономия ресурсов предприятия, что будет благоприятно сказываться на производительности и конкурентоспособности производства. В зависимости от загруженности производства составление технологических карт может производиться как ежедневно, так и еженедельно. Если брать среднюю загруженность производства (составление технологических карт трижды в неделю), то затраты времени на их составление будут занимать приблизительно 59% рабочего времени технолога. Соответственно, если экономия времени на составление каждой технологической карты составит 75%, то это будет освобождать 72 рабочих часа в месяц, а, значит, позволит существенно сократить затраты. Однако эти данные следует рассчитывать индивидуально, так как они зависят от масштабов производства, его загруженности и опыта самого технолога. Разработанная система значительно экономит временные затраты, облегчает процесс составления

технологических карт, позволяет сделать процесс расчета технологических показателей более комфортным.

*Описаны перспективы развития экспертной рекомендательной системы:*

1. Расширение возможностей системы при помощи внедрения технологий машинного зрения. Использование данной технологии делает возможным обучение системы на основе технических рисунков, что, в свою очередь, позволит выполнять поиск операций при помощи фотографий или технических эскизов, выполненных схематично от руки.

2. Внедрение алгоритмов позитивного подкрепления для рекомендательной выдачи, а также возможность дообучения нейросети. Тем самым, чем больше экспертная рекомендательная система будет использоваться, тем эффективнее будут последующие результаты ее работы.

3. Увеличение эффективности использования системы на производстве за счет сохранения проверенных и утвержденных технологических карт или добавления новых.

4. Внедрение автоматического подсчета общих фактических затрат времени на пошив изделия согласно составленной технологической карте;

5. Трансформация экспертной рекомендательной системы в мобильное приложение поможет сделать работу с ней еще эффективнее за счет удобства мобильных устройств и их расширенного функционала по сравнению с ПК.

Если вышеприведенный функционал будет реализован, то человеку останется только выбрать подходящие модели из сотни предложенных вариантов и начать с ними работу. То есть функцией человека в этом процессе может стать выбор лучших результатов из тех, что предложит нейросеть, отталкиваясь от промежуточных вариантов. Специалист также может корректировать, уточнять и даже заново формулировать задачу и обучать систему, направляя ее в нужную сторону. Можно предположить что в будущем, помимо профессиональных знаний, такой специалист должен будет обладать минимальными навыками программирования, чтобы качественно управлять обучением экспертной рекомендательной системы. В контексте научного исследования для наполнения экспертной рекомендательной системы были использованы данные с массового производства верхней женской одежды и жакетов (технологические последовательности). Однако, научный аппарат исследования не привязан к выбранной отрасли и предполагает возможность внедрения его результатов и в другие подотрасли легкой промышленности.

## **ВЫВОДЫ**

1. Разработанная векторно-событийная модель цифровой обработки потока данных является инструментом для контроля процесса ритмичности и сроков выполнения заказов.

2. Разработанный компьютерный алгоритм цифровой нейросети на основе экспертной рекомендательной системы является инструментом для создания индивидуализированных технологических карт швейного производства легкой промышленности.

3. Предложенный технологический процесс управления производственными данными использован для обучения нейросети.

4. Разработанный цифровой метод обработки информации экспертной рекомендательной системы позволяет получать рекомендации по составлению технологических последовательностей с целью ускорения производственных процессов за счет их компьютеризации.

5. На основе структур цифровых данных, сформированы решающие компоненты

экспертной системы и адаптированы возможности нейросети к особенностям организации швейного производства.

6. Разработанный программный комплекс составления технологических карт на стадии организации швейного производства является универсальным и может применяться к широкому кругу подотраслей легкой промышленности.

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах  
Статьи в рецензируемых журналах, входящих в «Перечень ВАК»**

1. Килимова А.Д. Потоки данных в легкой промышленности//Компетентность, 2022, № 3, С. 50-53.

2. Килимова А.Д. Трансформация производств легкой промышленности в связи с переходом к цифровой экономике//Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2022, Т. 24, № 2 (106), С. 42-47.

3. Килимова А.Д. Применение экспертной системы для модернизации технологического процесса на предприятии//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4, 2022, № 2, С. 79-82.

4. Килимова А.Д. Угрозы и возможности применения искусственного интеллекта в организации производств легкой промышленности//Наука и бизнес: пути развития, 2022, №4, С. 145-148.

**Прочие публикации**

5. Килимова А.Д., Труевцева М.А. Оптимизация процессов производства швейных изделий (цифровизация в легкой промышленности)//Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна, 2019, №03, С. 37-43.

6. Блюм В.С., Килимова А.Д. Проблемы и пути цифровизации легкой промышленности России//Актуальные проблемы экономики и управления, 2019, №4(24), С. 33-39.

7. Блюм В.С., Килимова А.Д. История и проблемы внедрения интегрированных систем менеджмента качества на предприятиях легкой промышленности//Актуальные проблемы экономики и управления, 2020, №4(28), С. 70-77.

8. Будагов А.С., Килимова А.Д. Классические принципы и тенденции организации производства в легкой промышленности//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 3, 2021, №2, С. 3-8.

9. Блюм В.С., Килимова А.Д. Влияние технологий искусственного интеллекта на систему менеджмента качества в легкой промышленности//Актуальные проблемы экономики и управления, 2021, №3(31), С. 11-16.

10. Дуботовкин Д.С., Килимова А.Д. Создание экспертной рекомендательной системы для технологов швейного производства//Актуальные проблемы экономики и управления, 2022, №2(34), С. 24-29.

11. Дуботовкин Д.С., Килимова А.Д. Возможности применения методологий AGILE на швейных производствах//Научный альманах Центрального Черноземья, 2022, № 1-10, С. 43-48.