

На правах рукописи



БЫКОВА АННА ВЛАДИМИРОВНА

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ
АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ
ПОСТПРОИЗВОДСТВЕННЫМ СОПРОВОЖДЕНИЕМ
ПРОДУКЦИИ**

2.3.3 - «Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2025

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН».

- Научный руководитель: **Капитанов Алексей Вячеславович**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизированные системы обработки информации и управления», ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», г. Москва.
- Официальные оппоненты: **Бурдо Георгий Борисович**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и автоматизация машиностроения», ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь.
- Кузнецов Павел Михайлович**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры 316 «Системное моделирование и автоматизированное проектирование», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва.
- Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск.

Защита диссертации состоится «19» марта 2026 г. в 15:00 ч. на заседании диссертационного совета 24.2.332.02 при ФГАОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» по адресу: 127005, г. Москва, Вадковский пер., д. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», www.stankin.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 20__ г.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.2.332.02,

к.т.н., доцент

Тюрбеева Татьяна Борисовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Стратегия перехода производственных предприятий на цифровые технологии для производственных и управленческих процессов отражена в программе «Цифровая экономика Российской Федерации» и утверждена распоряжением Правительства России от 28 июля 2017 г. №1632-р.

Отечественный и зарубежный опыт внедрения системы менеджмента качества (СМК) на предприятии в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001-2015 показывает, что качество продукции во многом определяется эффективностью бизнес-процессов всего жизненного цикла изделия (ЖЦИ).

В современном мире быстро развивающихся технологий производительность предприятия, качество выпускаемой продукции, эффективность и доступность предоставляемых им услуг и, как итог, конкурентоспособность предприятия зависит от технической и информационной обеспеченности предприятия.

Эффективным и современным средством контроля и усовершенствования процессов на этапе постпроизводственного сопровождения и эксплуатации выпускаемой продукции является автоматизированная система управления сопровождением продукции и взаимоотношениями с клиентами – CRM-система, относящаяся к категории АСУП на основании ГОСТ 34.003-90.

Использование наиболее передовых информационных технологий и переход к цифровому производству значительно повышает эффективность процессов производства и управления предприятием, и организует информационный обмен между всеми процессами в цифровом виде.

В виду постоянного роста ограничений на внедрение и поддержку систем зарубежного производства и нацеленность на импортозамещение в сфере информационно-коммуникационных технологий на территории России, еще большую остроту приобрела проблема анализа существующих процессов предприятия и подготовки методологического комплекса архитектурных решений, математических моделей и алгоритмов автоматизации процессов для АСУП.

Таким образом, актуальность рассматриваемой темы послужила импульсом к детальному анализу процессного подхода, исследованиям, анализу структуры и совершенствованию одного из этапов ЖЦИ путем моделирования системы управления постпроизводственным сопровождением и эксплуатацией продукции на производственном предприятии с внедрением алгоритмов интеллектуального анализа данных.

Степень разработанности темы. Вопросам моделирования и проектирования автоматизированных производственных систем посвящены труды отечественных ученых: Соломенцева Ю.М., Митрофанова В.Г., Волковой Г.Д., Павлова В.В., Шептунова С.А., Никонорова С.П., Андреева В.Н., Подповетной Ю.В, Мартынова О.Ю. и др.

Идеология процессного подхода к управлению предприятием, как основа повышения эффективности процессов, отражена в работах Репина В., Елиферова В., Зараменских Е.П., Блауберга И.В., Рыбакова М.Ю., Хаммера М., Чампи Дж, Деминга Э. и др.

В основу настоящего исследования также легли классическая теория факторного анализа Ким Дж., Мюллера Ч. и методы анализа многомерных данных, рассматриваемые в работах Буреевой Н.Н., Бондаревым А.Е., Афониним П.Н., Стукач О.В.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности деятельности предприятия на основе автоматизации и управления постпроизводственным сопровождением выпускаемой продукции, с внедрением методов интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания и рекламаций предприятия.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели предполагается решение следующей совокупности задач:

1. Выполнить информационно-аналитический обзор особенностей и проблематики одного из этапов ЖЦИ - этапа постпроизводственного сопровождения и эксплуатации продукции производственных предприятий, а также сравнительный анализ существующих автоматизированных систем (АС) управления постпроизводственным сопровождением и эксплуатацией продукции.

2. Выявить взаимосвязи и установить зависимости между накапливаемыми статистическими данными запросов сервисного обслуживания (рекламаций) производственного предприятия с одной стороны, и эффективностью производственных процессов предприятия с другой.

3. Разработать алгоритмы автоматизированной обработки запросов сервисного обслуживания (рекламаций) и управления службами сопровождения и сервиса, модели и структуру АС управления постпроизводственным сопровождением и эксплуатацией продукции, учитывающих специфику информационно-технической среды производственного предприятия.

4. Разработать алгоритмы и программный модуль интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций) производственного предприятия, централизованно накапливаемых АС управления постпроизводственным сопровождением и эксплуатацией продукции.

5. Разработать методику интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций), для выявления потенциальных скрытых рисков возникновения дефектов продукции на этапе сопровождения и эксплуатации, влияющих на принятие управленческих решений по повышению эффективности производственных процессов предприятия.

Объектом исследования являются процессы постпроизводственного сопровождения и эксплуатации продукции производственного предприятия с использованием CRM-системы.

Предметом исследования является совокупность организационно–методических и управленческих моделей и алгоритмов, методы обработки статистических данных и модель CRM-системы управления постпроизводственным сопровождением, эксплуатацией продукции и взаимоотношениями с клиентами.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Выявлены взаимосвязи и установлены зависимости между накапливаемыми статистическими данными запросов сервисного обслуживания (рекламаций) производственного предприятия с одной стороны, и эффективностью производственных процессов предприятия с другой, основанные на интеллектуальном анализе данных.

2. Разработаны алгоритмы автоматизированной обработки запросов сервисного обслуживания (рекламаций) и управления службами сопровождения и сервиса, модели и структура АС управления постпроизводственным сопровождением и эксплуатацией продукции, на основе порталного web-решения и интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций), обеспечивающие повышение эффективности вспомогательного процесса сопровождения и эксплуатации продукции предприятия.

3. Разработаны алгоритмы и программный модуль интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций) производственного предприятия, централизованно накапливаемых АС управления постпроизводственным сопровождением и эксплуатацией продукции.

4. Разработана методика интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций), для выявления потенциальных скрытых рисков возникновения дефектов продукции на этапе сопровождения и эксплуатации, влияющих на принятие обоснованных управленческих решений по повышению эффективности производственных процессов предприятия.

Теоретическая значимость работы заключается в совершенствовании теоретических основ построения АС управления постпроизводственным сопровождением и эксплуатацией продукции, с использованием алгоритмов автоматизированной обработки и интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций) производственного предприятия, которые обеспечивают контроль, снижение трудоемкости, сокращение времени разрешения запросов и выявление потенциальных рисков возникновения ряда дефектов продукции для корректировки производственных процессов.

Практическая значимость исследования состоит в том, что теоретические положения, направленные на формализацию и алгоритмизацию одного из этапов ЖЦИ – этапа эксплуатации и сопровождения, и сформированная структура АС являются универсальными и разработаны с учетом особенностей отечественных производственных предприятия. Автоматизация и повышение эффективности процессов достигается путем подключения разработанных алгоритмов к CRM-системе предприятия, размещенной в единой ИТ-инфраструктуре предприятия. Практическое применение выполненных разработок (алгоритмов, моделей и универсальной структуры АС на основе портального web-решения и интеллектуального анализа данных) оказывает положительное влияние на сокращение сроков и снижение трудоемкости предоставления услуг сопровождения и сервиса, сокращение количества гарантийных сервисных работ (рекламаций) и повышение качества продукции за счет предотвращения потенциальных рисков возникновения дефектов продукции на этапе сопровождения и эксплуатации продукции. Предлагаемое решение и разработанный программный модуль обеспечивают возможность интеграции в базовую комплектацию программных решений CRM-систем, что особенно актуально в период развития отечественных решений в сфере АСУП в рамках программы по импортозамещению и повышению конкурентоспособности перед зарубежными автоматизированными системами.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Выявленные взаимосвязи и установленные зависимости между накапливаемыми статистическими данными запросов сервисного обслуживания (рекламаций) производственного предприятия с одной стороны, и эффективностью производственных процессов предприятия с другой, основанные на разработанных алгоритмах интеллектуального анализа данных.

2. Разработанные алгоритмы автоматизированной обработки запросов сервисного обслуживания (рекламаций) и управления службами сопровождения и сервиса, модели и структура АС управления постпроизводственным сопровождением и эксплуатацией продукции, на основе портального web-решения и интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций), обеспечивающие повышение эффективности вспомогательного процесса сопровождения и эксплуатации продукции предприятия.

3. Разработанные алгоритмы и программный модуль интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций) производственного предприятия, централизованно накапливаемых АС управления постпроизводственным сопровождением и эксплуатацией продукции.

4. Разработанная методика интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций), для выявления потенциальных скрытых рисков возникновения дефектов продукции на

этапе сопровождения и эксплуатации, влияющих на принятие управленческих решений по повышению эффективности производственных процессов предприятия.

Методы исследования основаны на использовании системного анализа, математической статистики, теории управления, теории массового обслуживания, методологии основ проектной деятельности и функционального моделирования, методов экспертно-аналитического, сравнительного и факторного анализа, методов аналитического управления.

Апробация работы и степень достоверности результатов. Достоверность результатов подтверждается согласованностью полученных практических результатов с теоретическими, полученными с помощью экспертно-аналитического подхода, а также корректностью результатов вычислительного и практического экспериментов на действующих российских производственных предприятиях.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих международных и региональных конференциях: XV Всероссийской конференции с международным участием «Машиностроение: традиции и инновации (МТИ – 2022)»; VIII Международной научно-практической конференции «Менеджмент качества, Транспортная и информационная безопасность, Информационные технологии» IT&QM&IS – 2023; XVI Всероссийской конференции с международным участием «Машиностроение: традиции и инновации (МТИ – 2023)»; IX Международной научно-практической конференции «Менеджмент качества, Транспортная и информационная безопасность, Информационные технологии» IT&QM&IS – 2024; Международной научно-практической конференции «Управление и инновационное развитие предприятия: новые подходы и актуальные исследования» (УИРП – 2024); Международной научно-технической конференции Современные машиностроительные системы, технологии и инновации (ТМ-09) в 2025 году; 8-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых «Молодежь и наука: шаг к успеху» (МЛ-22) в 2025 году; 9-й Международной молодежной научно-практической конференции «Молодежь и системная модернизация страны» (МЛ-24); II Международной научно-практической конференции «Управление и инновационное развитие предприятия: новые подходы и актуальные исследования» (УИРП – 2025).

Публикации по теме специальности. По теме диссертации опубликованы 14 научных публикаций, в том числе 5 научных работ в российских научных журналах из перечня ВАК РФ для специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, 1 научная работа в издании, входящем в базы данных Scopus, 8 статей в сборниках научных трудов.

Соответствие паспорту специальности. Указанная область исследования соответствует паспорту научной специальности 2.3.3 — «Автоматизация и управление технологическими процессами и

производствами» в пунктах 3 – «Методология, научные основы, средства и технологии построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСУТПП) и т.д.», 7 – «Теоретические основы и методы моделирования и управления организационно-технологическими системами и киберфизическими производственными комплексами».

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов и результатов, списка литературы из 89 наименований. Работа изложена на 171 страницах машинописного текста, включая 13 страниц приложений, содержит 40 рисунков, 9 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулирована актуальность работы, определены цели и задачи, решение которых необходимо осуществить, обосновываются научная новизна и практическая значимость работы, формулируются основные положения исследования.

Первая глава посвящена исследованию ЖЦИ и существующих подходов и методов для повышения эффективности этапа постпроизводственного сопровождения продукции предприятия, применен процессный подход для выявления основных непроизводственных процессов предприятия, требующих совершенствования и автоматизации.

Проведенные исследования позволили определить наличие узких мест непроизводственного (вспомогательного) процесса сопровождения продукции и работы с рекламациями, которые заключаются в отсутствии автоматизированных механизмов контроля процесса обслуживания клиентов, отсутствии обратных связей с производственными процессами и изолированность процесса сопровождения от остальных этапов ЖЦИ на предприятии.

Механизмы контроля и управления сопровождением и эксплуатацией продукции разрабатываются на основе автоматизированной системы управления сопровождением и взаимоотношениями с клиентами на производственном предприятии (CRM-системы, сокращение от англ. Customer Relationship Management), используемой в качестве единой точки входа. Вся информация по запросам сервисного обслуживания (рекламациям) размещается в стандартизированном виде в едином хранилище. Параметрами запросов является перечень характеристик, среди которых можно выделить универсальные для производственного предприятия: наименование продукции, тип комплектующего оборудования, модель комплектующего оборудования, тип инцидента, детали инцидента, адрес установки, дата отгрузки продукции, наименование транспортной компании, статус изделия, дата поступления запроса, решение по запросу, трудоемкость разрешения запроса.

Управление процессом сопровождения продукции с применением CRM-системы позволит наладить взаимодействие с пользователями продукции, проводить регулярный сбор, накопление и дальнейший статистический анализ данных запросов пользователей, для выявления взаимосвязей с производственными процессами, что послужит импульсом для совершенствования процессов производства, модернизации продукции и, как следствие, повышения эффективности процессов производства продукции и гарантированного соответствия требованиям и ожиданиям пользователей.

В результате проведенного исследования было определено, что для выявления межуровневых связей производственных и постпроизводственных процессов эксплуатационного обслуживания продукции требуется решить задачу многомерного анализа данных, накопленных и подготовленных CRM-системой предприятия.

Основываясь на полученных выводах, была поставлена цель научно-квалификационной работы и сформулированы задачи для ее достижения.

Во второй главе представлены результаты разработки структуры АС управления постпроизводственным сопровождением и эксплуатацией продукции с учетом потребностей и специфики промышленного предприятия, на основе универсального порталного web-решения для прямого взаимодействия с клиентами и сбора статистических данных. В АС применен интеллектуальный анализ данных для выполнения дальнейшего статистического анализа и построения системы поддержки принятия решений (СППР) предприятия. Формализованы описания основных бизнес-процессов системы и подготовлены графические модели для построения CRM-системы производственного предприятия.

Полученная структура разработана на основе практического опыта использования CRM-систем и изучения функциональности систем различных производителей. Определены критерии подбора и особенности применения систем на промышленном предприятии, проведен сравнительный анализ актуальных решений для организации и автоматизации процессов взаимодействия с клиентами производственного предприятия. В качестве анализируемых CRM-систем были выбраны Microsoft Dynamic CRM и Oracle Siebel CRM, как наиболее известные зарубежные лидеры данного сектора, и решения, предлагаемые российскими производителями: Битрикс 24, 1С: CRM, Мегаплан, ELMA 365, BPM Soft.

Результаты сравнительного анализа с оценками уровня развития основных характеристик систем представлены в таблице 1. Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что существующие решения не способны обеспечить полноценное прямое взаимодействие клиентов с встроенными механизмами CRM-системы, а задача развития порталных решений для производственных предприятий является актуальной и перспективной.

Таблица 1. Сравнительный анализ CRM-систем для организации процессов взаимодействия с клиентами
производственного предприятия

№ пп	Сравнительная характеристика	Microsoft Dynamic CRM	Oracle Siebel CRM	Битрикс 24	1С: CRM	Мегаплан	ELMA 36 5	BPM Soft
1	Удобство и простота использования (usability)	3	2	2	2	2	3	3
2	Интеграция с системами управления предприятием	3	3	3	3	3	2	2
3	Интеграция с IP-телефонией и СМС-каналами	3	3	3	3	2	3	2
4	Открытость кода и возможность настройки	2	1	1	1	2	3	3
5	Облако	3	3	3	3	3	0	3
6	Сервер	3	3	3	3	3	3	3
7	Гибкость системы	3	3	3	3	1	2	2
8	Мобильное приложение	3	3	3	3	3	3	0
9	Портальное web-решение для клиентов предприятия	0	2	1	1	0	1	2
10	Потребители продукта	Крупные и средние компании от 10-20 человек до десятков тысяч рабочих мест	Крупные компании с десятками тысяч рабочих мест	Крупные территориально-распределенные компании или холдинги с большим количеством пользователей	Крупные предприятия	Мелкие компании, маркетплейсы	Средние и мелкие компании	Средние компании, в т.ч. производственные предприятия
	Итого	23	23	22	22	19	20	20

С помощью портального web-решения для CRM-систем, представляющего собой интернет-площадку для прямого взаимодействия сотрудников служб сопровождения и сервисного центра с зарегистрированными клиентами предприятия, можно накапливать, структурировать, фильтровать данные, а также обеспечить автоматизированную обработку данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций) продукции, поступающих в отделы постпроизводственного сопровождения и сервиса предприятия. Интеллектуальный анализ накопленных CRM-системой данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций) позволяет установить взаимосвязи с производственными процессами, выстраивать механизмы планирования производства, а также использовать алгоритмы статистического анализа данных для выявления потенциальных скрытых рисков возникновения дефектов продукции, влияющих на принятие взвешенных управленческих решений.

Результаты анализа позволяют сформулировать требования и разработать структуру системы управления сопровождением продукции для производственного предприятия, представленную на рисунке 1, построить логическую модель системы в виде диаграммы вариантов использования CRM-системы (Use-Case Diagram) и универсальную логическую модель данных в виде UML-диаграммы классов (Unified Modeling Language) для клиентских запросов в CRM-систему. Внедрение разработанной структуры системы на предприятии позволяет повысить эффективность вспомогательных процессов постпроизводственного сопровождения и эксплуатации продукции.

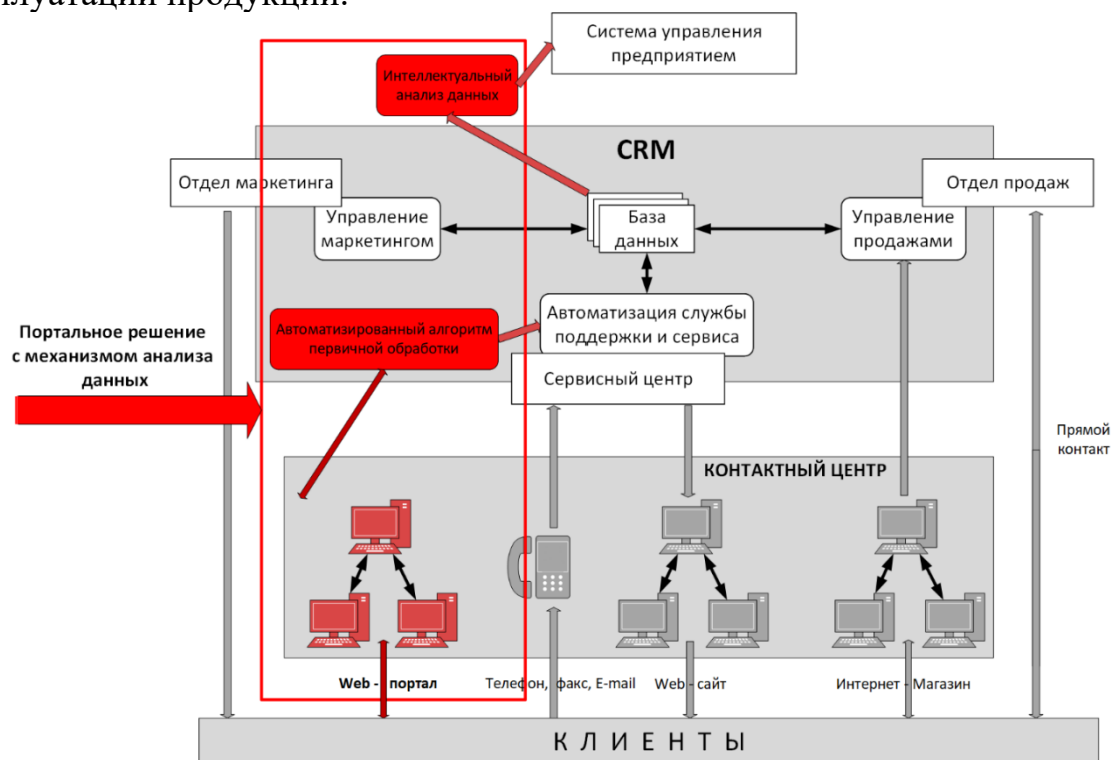


Рисунок 1. Структура системы управления сопровождением продукции предприятия

Третья глава посвящена непосредственной разработке алгоритмов автоматизированной обработки запросов сервисного обслуживания и рекламаций продукции, построению статистической модели и методики анализа данных, накопленных и подготовленных CRM-системой на основе разработанной структуры системы.

Выполнены вычисления с позиции теории массового обслуживания и проведен сравнительный анализ трех вариантов организации работы служб сопровождения и сервисного центра, построенных по типу: 1) call-центра; 2) с использованием электронной почты; 3) на основе портального web-решения и алгоритма автоматизированной первичной обработки запросов. Были рассмотрены показатели загруженности сервисной службы одного из российских предприятий по производству многокомпонентной сборочной продукции. Сделан вывод, что организация работы служб сопровождения и сервисного центра с помощью портального web-решения позволяет обеспечить процесс первичной обработки запросов без влияния человеческого фактора и временных потерь, что положительно влияет на сокращение сроков и снижение трудоемкости предоставления услуг сопровождения и сервиса. Изучение процесса взаимодействия с клиентами показало значимость клиентоориентированного подхода при оценке эффективности внедрения CRM-системы и повышение лояльности клиентов при организации прямого взаимодействия с сервисными службами через портальное web-решение.

На основе анализа деятельности реальных предприятий и их действующих бизнес-процессов сформирован алгоритм автоматизированной обработки запросов клиентов (рекламаций) в службы сопровождения (сущность «Обращения») через CRM-систему предприятия, представленный на рисунке 2. Повышение эффективности вспомогательных процессов предприятия по оказанию услуг сопровождения и сервиса достигается за счет автоматизации рутинных операций первичной обработки запросов (рекламаций).

Схема измененных процессов предприятия с применением интеллектуального анализа данных, представлена на рисунке 3. Для описания бизнес-процессов использована методология функционального моделирования и графической нотации IDEF0.

Проведенный статистический анализ данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций) исследуемого предприятия, показал, что объем поступающих запросов и количество характерных признаков по каждому из них не позволяют интерпретировать полученную матрицу наблюдений и выявить взаимосвязи с производственными процессами.

Задачей проводимого анализа является отбор наиболее существенных признаков запросов, для дальнейшего изучения минимально необходимого количества полученных (скрытых) показателей. Выполнение отбора показателей производится методами снижения размерности, одним из которых является факторный анализ.

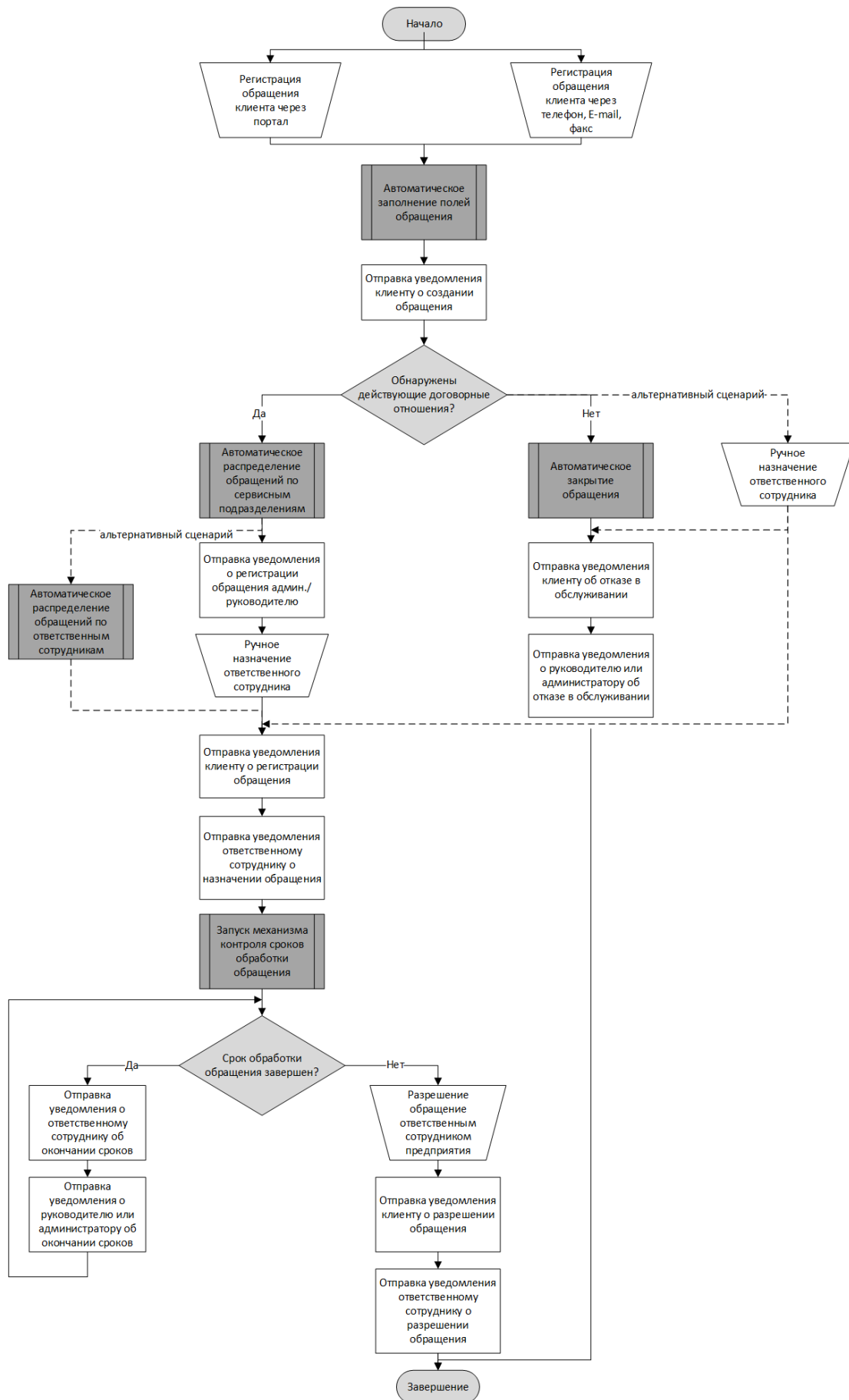


Рисунок 2. Алгоритм обработки запросов с автоматизацией отдельных этапов

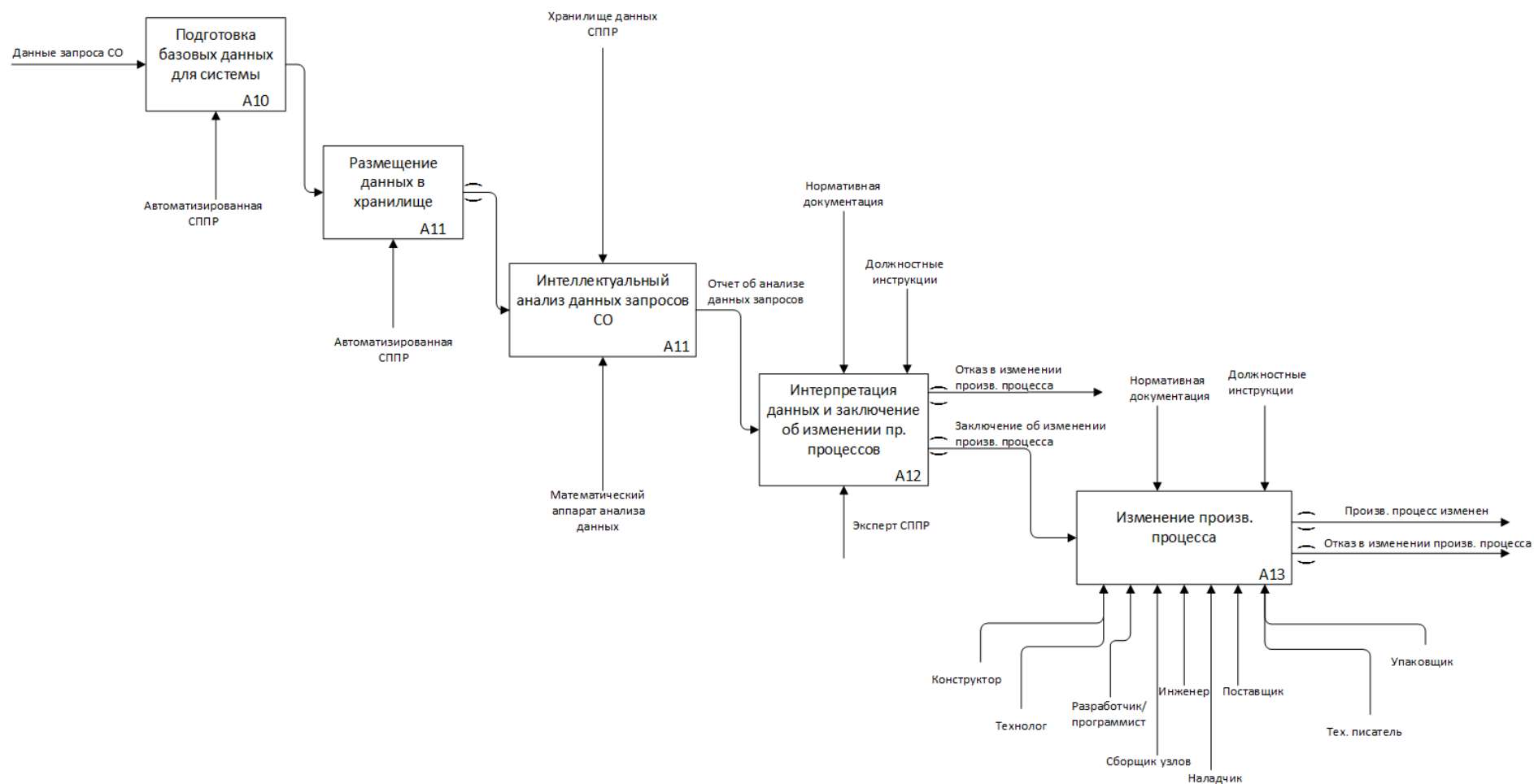


Рисунок 3. Схема процесса сбора и интеллектуального анализа статистических данных поступающих запросов сервисного обслуживания (рекламаций) предприятия

Соотношения факторного анализа формально воспроизводят запись модели множественных регрессий, в которой под f_j ($j = 1, 2, \dots, m$) понимаются так называемые объясняющие переменные (факторы), выступающие в роли аргументов в моделях регрессий и не являющиеся непосредственно наблюдаемыми в моделях факторного анализа.

Представлена практическая модель факторного анализа исследуемого наблюдения, учитывающая данные каждого запроса в установленный период:

$$x_{ik} = a_{1k}f_{i1} + a_{2k}f_{i2} + \dots + a_{jk}f_{ij} + \dots + a_{(m-1)k}f_{i(m-1)} + a_{mk}f_{im} = \sum_{j=1}^m a_{jk}f_{ij},$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ – порядковый номер запроса, n – количество исследуемых запросов, $k = 1, 2, \dots, p$ – порядковый номер признака рассматриваемого запроса, p – количество признаков, характерных для каждого запроса, $j = 1, 2, \dots, m$ – порядковый номер фактора, m – количество общих факторов, f_{ij} – общие факторы, которые влияют на несколько переменных X_i поступающих запросов одновременно, a_{jk} – нагрузка фактора j на признак k (факторная нагрузка).

В матричном виде модель представлена как $X = AF$, где $A = a_{kj}$ – прямоугольная $p \times m$ матрица нагрузок общих факторов на исследуемые признаки поступающих запросов, связывающих исследуемые наблюдения X_i со скрытыми общими факторами $f_1, f_2, \dots, f_j, \dots, f_m$. В таблице 2 представлена матрица нагрузок факторов на признаки рассматриваемых запросов сервисного обслуживания (рекламаций) предприятия.

Модель отражает зависимость скрытых (латентных) факторов f с имеющимися признаками p поступающих в CRM-систему запросов сервисного обслуживания (рекламаций).

Таблица 2. Матрица нагрузок общих факторов на исследуемые признаки

	Фактор f_1	Фактор f_2	Фактор f_3	...	Фактор f_j	...	Фактор f_m
Наименование продукции $k = 1$	a_{11}	a_{12}	a_{13}	...	a_{1j}	...	a_{1m}
Тип комплектующего оборудования $k = 2$	a_{21}	a_{22}	a_{23}	...	a_{2j}	...	a_{2m}
Модель комплектующего оборудования $k = 3$	a_{31}	a_{32}	a_{33}	...	a_{3j}	...	a_{3m}
Тип инцидента $k = 4$	a_{41}	a_{42}	a_{43}	...	a_{4j}	...	a_{4m}
Детали инцидента $k = 5$	a_{51}	a_{52}	a_{53}	...	a_{5j}	...	a_{5m}
Адрес установки $k = 6$	a_{61}	a_{62}	a_{63}	...	a_{6j}	...	a_{6m}
Решение по запросу $k = 7$	a_{71}	a_{72}	a_{73}	...	a_{7j}	...	a_{7m}
Дата отгрузки $k = 8$	a_{81}	a_{82}	a_{83}	...	a_{8j}	...	a_{8m}
Транспортная компания $k = 9$	a_{91}	a_{92}	a_{93}	...	a_{9j}	...	a_{9m}
Статус изделия $k = 10$	a_{101}	a_{102}	a_{103}	...	a_{10j}	...	a_{10m}
Дата запроса СО $k = 11$	a_{111}	a_{112}	a_{113}	...	a_{11j}	...	a_{11m}
Трудоемкость по разрешению запроса $k = 12 = p$	a_{121}	a_{122}	a_{123}	...	a_{12j}	...	a_{pm}

Величина значения факторной нагрузки a_{kj} объясняется уровнем связи признака запросов k с рассматриваемым фактором f_j . Чем больше значение, тем плотнее связь и чем меньше значение, тем менее выражена связь признака с фактором. На основе полученной матрицы факторных нагрузок можно сделать вывод о наборе признаков запросов, имеющих максимальный вес в формировании каждого из выделенных факторов. Полученным значениям необходимо дать содержательную интерпретацию для дальнейшего выявления взаимосвязей с производственными процессами предприятия и определения потенциальных скрытых рисков возникновения дефектов продукции.

В соответствии с полученной статистической моделью исследуемых наблюдений выполнено программное решение в системе STATISTICA. Для снижения размерности матрицы применен факторный анализ методом выделения главных компонент. Построены графики собственных значений факторов и процентного вклада главных компонент в дисперсию исходных данных и выделены 4-е главных фактора для исследуемых наблюдений на действующем российском производственном предприятии.

На рисунке 4 представлена матрица нагрузок полученных факторов на исследуемые признаки, с применением вращения исходных факторов поворотом оси Varimax (Варимакс) для улучшения наглядности при интерпретации результатов.

Variable	Factor Loadings (Varimax raw) (Spreadsheet1.sta)			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Наим	0,086145	0,291809	0,429387	-0,563977
Тип_компл	0,954683	-0,070692	0,010657	0,014205
Модель_компл	0,951296	-0,078519	-0,001391	0,022463
Тип_инц	-0,335195	0,250421	-0,267911	-0,189531
Детали_инц	-0,445059	-0,301926	0,041998	0,506625
Адрес	-0,098003	-0,168656	-0,129536	-0,821873
Решение	0,004862	0,423150	0,625566	0,018398
Дата_отгр	0,192213	-0,867331	-0,170579	0,051593
Тр_компл	0,063106	-0,188600	0,788587	0,139402
Статус	-0,002046	0,899923	-0,149259	0,050889
Дата_запр	-0,452323	0,066163	0,554702	-0,336434
Трудоем	-0,400571	0,107382	0,082610	-0,439577
Expl.Var	2,549851	2,071289	1,653904	1,618281
Prp.Totl	0,212488	0,172607	0,137825	0,134857

Рисунок 4. Факторные нагрузки с применением вращения

Полученные факторные нагрузки позволяют выявить максимальные значения коэффициентов корреляции каждой из переменных с каждым из выявленных факторов. На основе полученных значений корреляции и экспертного заключения дана физическая интерпретация 4-м полученным факторам, определены зависимости между процессами на этапах ЖЦИ и возникновением инцидентов и дефектов продукции. Сформулированы

управленческие решения для предотвращения выявленных рисков возникновения инцидентов и дефектов продукции и, как следствие, повышения эффективности процессов на соответствующих этапах ЖЦИ.

Первый фактор – фактор влияния производителя комплектующего оборудования на частоту возникновения запросов сервисного обслуживания.

В качестве управленческого решения инициировано изменение технологического процесса комплектации выпускаемой продукции устройствами более устойчивыми в эксплуатации и сужение вариативности модельного ряда комплектующего оборудования.

Второй фактор – фактор постепенного естественного снижения отказоустойчивости продукции с увеличением времени эксплуатации.

Третий фактор – фактор влияния эффективности процессов предпродажной подготовки, упаковки и доставки продукции на возникновение первичных запросов сервисного обслуживания.

Управленческим решением будет служить анализ эффективности предоставления услуг доставки продукции Транспортными компаниями, а также оценка качества упаковочных материалов и изменение процесса упаковки на предприятия.

Четвертый фактор – фактор влияния эффективности предоставления услуг региональных сервис-партнеров на сервисное обслуживание продукции.

В качестве управленческого решения принято проводить регулярный аудит деятельности региональных сервис-партнеров с целью актуализации нормативных документов по работе сервис-партнеров, выявлению уровня компетентности сотрудников сервис-партнеров, своевременному обучению и повышению квалификации сотрудников сервис-партнеров или принятию решений по смене сервис-партнера.

На основе полученных результатов наиболее показательными является 1-ый и 4-ый факторы. Взаимосвязи с производственными процессами позволяют выявить потенциальные риски возникновения дефектов продукции и источник возникновения появившихся событий, что имеет большую ценность для теоретического исследования и для дальнейшего практического применения при оптимизации производственных процессов предприятия.

Для преобладающих признаков выделенных факторов производится более глубокое исследование данных поступивших запросов. На рисунке 5 изображена одна из полученных 2D – диаграмм рассеяния запросов на пространстве выбранных факторов, на которой наглядно выделяются запросы под номерами 39, 40, 41, 42, 43, 45 и 48. Продукция по этим запросам выпущена в разное время, но при этом одним производственным отделом, выпускающим данное наименование корпусных деталей. Поэтому можно выявить риски в качестве производства и сборки корпусных деталей определенным производственным отделом с применением соответствующих управленческих решений по контролю качества.

Показательным и наглядным для анализа также является визуальное 3D-моделирование влияния отдельных показателей в виде сплайновой поверхности.

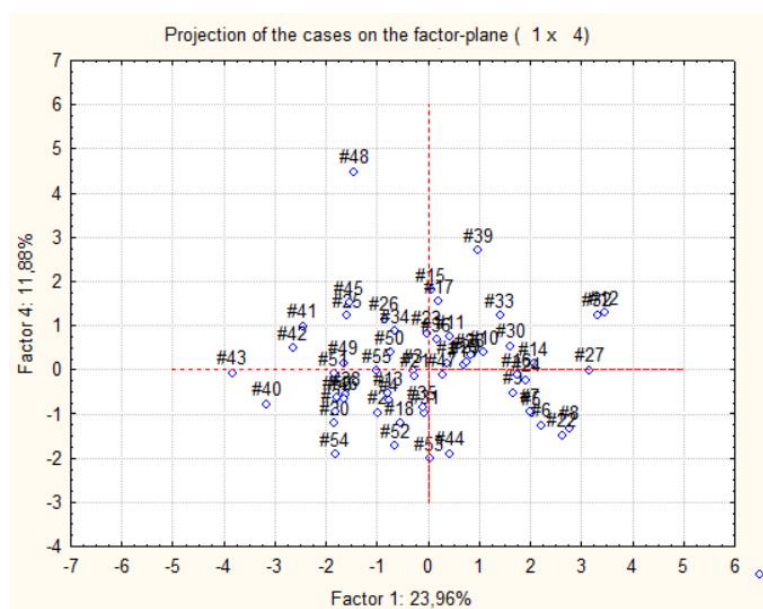


Рисунок 5. Диаграмма распределения запросов на площади 1-го и 4-го факторов

На рисунке 6 отображен один из построенных графиков поверхности зависимостей параметров исследуемых факторов 1 и 4. В силу специфики выпускаемой продукции, она может быть установлена в слабо отапливаемом и слабо проветриваемом помещении или на улице, из-за чего разные условия эксплуатации по-разному влияют на отказоустойчивость продукции. По полученному графику можно обнаружить большее возникновение отказов по системным блокам питания устройств (тип устройства от 16 до 22) в регионах с более влажным климатом (Санкт-Петербург и Ленинградская область). В качестве управляющего решения можно рассмотреть возможность адаптации устройств для более влажных и ветренных регионов России.

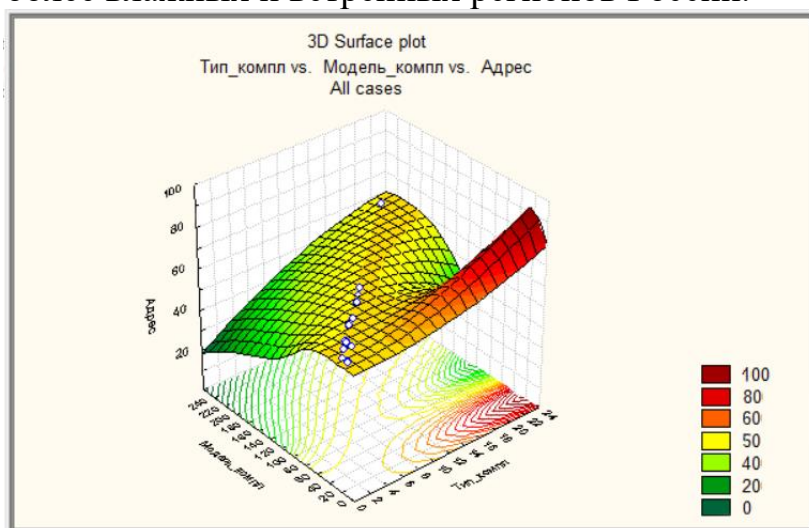


Рисунок 6. Диаграмма распределения исследуемых запросов на площади признаков Модель комплектующего/Тип комплектующего/Адрес

При постепенном накоплении данных для анализа наблюдается изменения значимости и характера факторов, формируются новые правила выявления ключевых факторов. Это приведет к изменению значимых выводов и, как следствие, новым управленческим решениям. Будет динамически актуализировано влияние полученных факторов на производственные

процессы. Физическая интерпретация полученных результатов позволяет прогнозировать дальнейшее развитие ситуации с высокой долей достоверности.

В четвертой главе проиллюстрирована архитектура автоматизированной СППР и алгоритмы практического применения модуля интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций).

Аналитический оценочный блок позволяет рассчитать факторные нагрузки ненаблюдаемых (скрытых) факторов, влияющих на возникновение дефектов продукции, выделить главные факторы и предоставить отчет об интеллектуальном анализе накопленных данных по поступившим запросам для рассмотрения эксперту СППР.

Общий алгоритм работы аналитического блока подсистемы помощи принятия управленческих решений предприятия состоит из:

- предварительной подготовки и загрузки данных в аналитический блок;
- центрального блока факторного анализа данных (рисунок 7);
- блока построения диаграмм для физической интерпретации результатов.

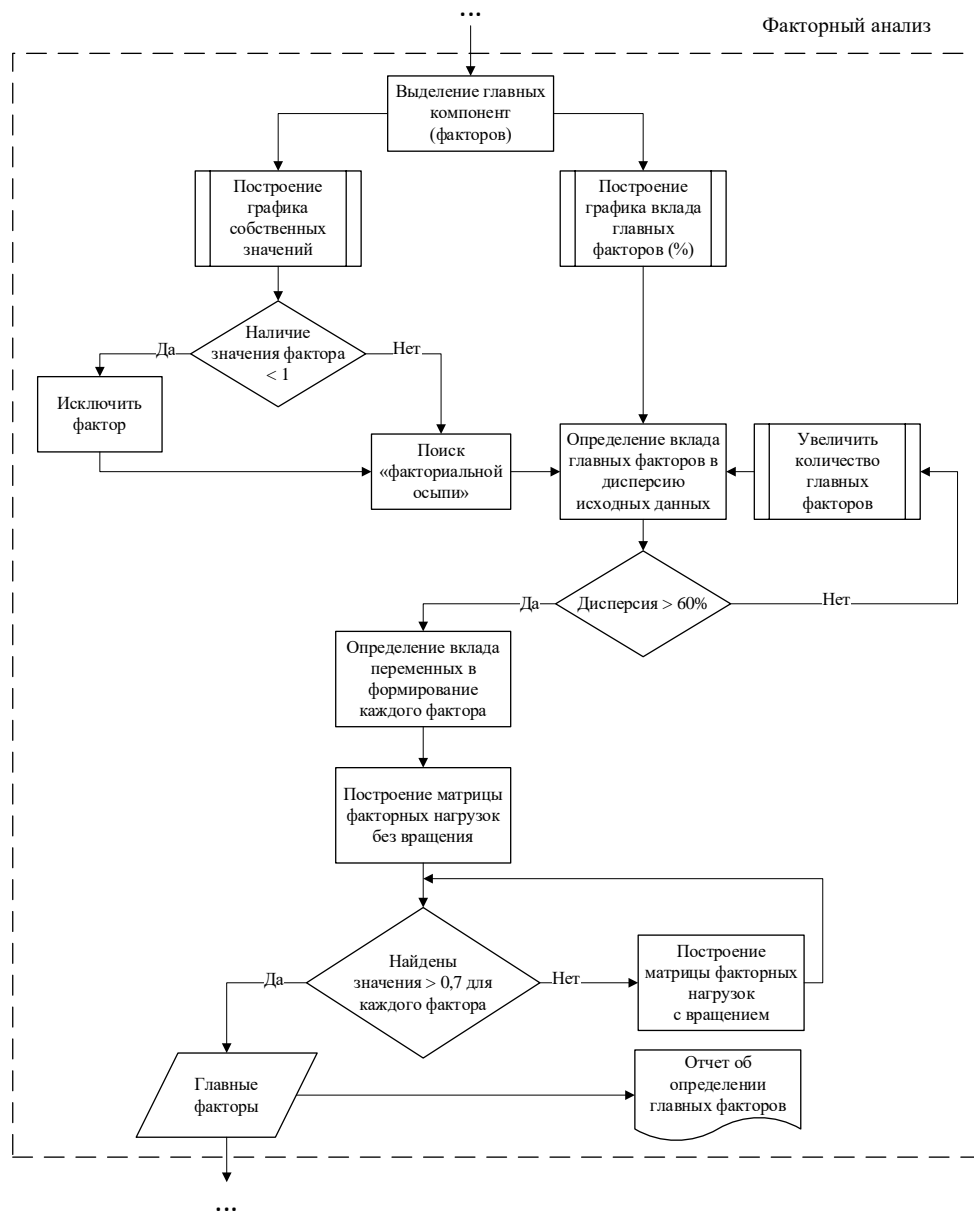


Рисунок 7. Блок факторного анализа данных запросов

Алгоритм для реализации программного модуля интеллектуального анализа данных и методика формирования экспертного заключения представлена в таблице 2.

Таблица 2. Алгоритм анализа и методика формирования экспертного заключения

Алгоритм процесса	Экспертный анализ
<p>Начало</p>	
<p>Подготовленные данные</p>	
<p>Построение матрицы корреляции признаков Correlations 1</p>	<p>1. Анализ матрицы на избыточность признаков:</p> <ul style="list-style-type: none"> - исключить признаки с максимальной корреляцией, близкой к 1,0 (избыточность признаков); - исключить признаки с минимальной корреляцией менее 0,1 (слабо влияющий признак).
<p>Построение графика собственных значений факторов Plot of Eigenvalues 2</p>	<p>2-3. Поиск оптимального количества факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - отбросить факторы со значением <1; - определить «факториальную осыпь» - место, после которого справа идет замедление убывания собственных значений; - определить кол-во факторов с суммой дисперсии более 60-70%.
<p>Построение графика вклада главных компонент (в %) Eigenvalues of correlation matrix 3</p>	
<p>Построение матрицы вклада переменных в формирование каждого фактора Variable contributions, based on correlations 4</p>	<p>4. Определить наличие вклада переменных в формирование каждого фактора:</p> <ul style="list-style-type: none"> - найти преобладающие признаки для каждого фактора (по максимальным значениям).
<p>Построение матрицы факторных нагрузок без вращения Factor Loadings (Unrotated) 5</p>	
<p>Построение матрицы факторных нагрузок с вращением Factor Loadings (Varimax raw) 6</p>	<p>5-6. Интерпретировать факторы по признакам с факторными нагрузками больше 0,7 и определить причинно-следственные связи производственными процессами.</p>
<p>Построение диаграммы распределения признаков на пространстве факторов Projection of the variables on the factor-plane 7</p>	<p>7. Определить наиболее показательные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - чем ближе признак к единичной окружности, тем лучше он воспроизведен в выбранной системе координат.
<p>Построение диаграммы распределения запросов на пространстве факторов Projection of the cases on the factor-plane 8</p>	
<p>Построение 3D-диаграммы распределения запросов на пространстве признаков 3D Surface plot 9</p>	<p>8. Найти выраженную сгруппированность запросов и провести детальный анализ всех признаков, с целью выявления связей с производственными процессами.</p>
<p>Построение 3D-диаграммы распределения запросов на пространстве признаков 3D Surface plot 10</p>	<p>9-10. Найти наиболее выраженные области 3D-поверхности для определения причинно-следственных связей с производственными процессами.</p>
<p>Завершение</p>	

Экспертный анализ результатов выполнения программного модуля позволяет дать физическую интерпретацию выявленным факторам, определить причинно-следственные связи возникновения запросов сервисного обслуживания (рекламаций) с производственными процессами, и определить потенциальные скрытые риски возникновения повторных инцидентов и дефектов продукции, выявленных на этапе эксплуатации и сопровождения. Предоставленное экспертное заключение передается на рассмотрение руководству предприятия для дальнейшего принятия обоснованных управленческих решений по корректировке производственных процессов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

Выполненные исследования и практическая работа позволили получить следующие выводы и результаты:

1. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи по организации контроля и повышению эффективности производственных процессов предприятия за счет применения разработанных алгоритмов автоматизированной обработки запросов сервисного обслуживания (рекламаций), и управления постпроизводственным сопровождением и эксплуатацией выпускаемой продукции, с внедрением методов интеллектуального анализа данных.

2. Проведенный информационно-аналитический обзор особенностей и проблематики этапа постпроизводственного сопровождения и эксплуатации продукции и анализ существующих АС управления показал, что существующие системы не охватывают в полной мере потребности отечественных производственных предприятий. В связи с чем появилась необходимость разработки моделей и структуры АС управления постпроизводственным сопровождением и эксплуатацией продукции для производственного предприятия.

3. Выявлены взаимосвязи и установлены зависимости между накапливаемыми статистическими данными запросов сервисного обслуживания (рекламаций) производственного предприятия с одной стороны, и эффективностью производственных процессов предприятия с другой, основанные на разработанных алгоритмах интеллектуального анализа данных.

4. Разработаны алгоритмы автоматизированной обработки запросов сервисного обслуживания (рекламаций) и управления службами сопровождения и сервиса, модели и структура CRM-системы управления постпроизводственным сопровождением и эксплуатацией продукции, на основе портального web-решения и интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций), обеспечивающие повышение эффективности вспомогательного процесса постпроизводственного сопровождения и эксплуатации продукции предприятия.

5. Разработан алгоритм интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций) предприятия, централизованно накапливаемых CRM-системой управления постпроизводственным сопровождением и эксплуатацией продукции.

6. Разработана методика интеллектуального анализа данных и формирования экспертного заключения, позволяющая выявить потенциальные скрытые риски возникновения дефектов продукции на этапе сопровождения и эксплуатации, и предотвратить их распространение, путем принятия обоснованных управленческих решений по повышению эффективности производственных процессов предприятия, что подтверждено результатами экспериментальной проверки на действующем предприятии.

7. На основе разработанного алгоритма интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций) был реализован программный модуль автоматизированного интеллектуального анализа и форматы графических отчетов, для интеграции с действующей CRM-системой предприятия.

8. Разработанная методика и программный модуль интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций) внедрены в учебный процесс кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления» ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» при подготовке бакалавров по направлению 27.03.02 «Управление качеством» профиль подготовки «Управление качеством в производственных системах» и магистров по направлению 27.04.02 «Управление качеством» профиль подготовки «Управление качеством в автоматизированных производственных системах» по учебным дисциплинам «Статистические методы управления качеством», «Компьютерные технологии систем управления качеством».

9. Разработанные алгоритмы, модели, структурное решение, программный модуль и методика интеллектуального анализа данных запросов сервисного обслуживания (рекламаций) внедрены в практику использования системы управления постпроизводственным сопровождением и эксплуатацией продукции в компаниях АО «СмартКард-Сервис» (г. Москва) и ООО «С-ЛАЗЕР» (г. Видное). Проведенные корректирующие мероприятия на предприятии по выявленным в результате интеллектуального анализа рискам позволили полностью исключить дефекты системного блока (составляющие ранее 3-4% от всех запросов), сократить количество запросов по корпусным деталям (на 4-5%), и сократить в 2 раза затратное сервисное обслуживание с полной заменой оборудования (с 12% до 5%).

10. Предложенные решения обеспечивают возможность интеграции в базовую комплектацию программных решений CRM-систем, что особенно актуально в текущий период развития отечественных решений в сфере АСУП в рамках программы по импортозамещению и повышению конкурентоспособности перед зарубежными АС.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах, рекомендованных ВАК:

1. Быкова, А.В. Принципы взаимодействия автоматизированной системы взаимоотношений с клиентами и АС предприятия на различных этапах жизненного цикла продукции / А.В. Быкова, А.В. Капитанов // Вестник МГТУ «СТАНКИН». – 2023. – №1 (64). – с.15–21.

2. Быкова, А.В. Формализация бизнес-процессов предприятия при моделировании автоматизированной системы управления взаимоотношениями с клиентами / А.В. Быкова, А.Ю. Бекмешов // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2024. – № 1 (23). – с. 33-41.

3. Быкова, А.В. Анализ CRM-систем и формирование структуры архитектурного решения автоматизированной CRM-системы для машиностроительного производства / А.В. Быкова, А.В. Капитанов // Вестник МГТУ «СТАНКИН». – 2024. – №1 (68). – с.129-137.

4. Быкова, А.В. Эффективность применения автоматизированных алгоритмов обработки запросов сервисного обслуживания через web-портал промышленного предприятия / А.В. Быкова // Информационные системы и технологии. – 2025. – № 1(147). – с. 43-51.

5. Быкова А.В. Математическая модель анализа данных запросов сервисного обслуживания и рекламаций предприятия / А.В. Быкова // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2025. – 29 (4) – с. 216-230.

Статьи в изданиях, входящих в базы данных Scopus и Web of Science:

1. Bykova, A.V. Algorithmization of Automation and Service Management Processes of an Industrial Enterprise / A.V. Bykova, Y. Pozdnyak // Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (QM&TIS&IT). – 2024. – p.155-159.

Публикации в других научных журналах и изданиях:

1. Быкова, А.В. Выявление оптимальных параметров для оценки эффективности внедрения на предприятии системы управления взаимоотношениями с клиентами. / А.В. Быкова, Т.В. Карлова // Качество. Инновации. Образование. – 2023. – №3 (185). – с. 25-33.

2. Быкова, А.В. Клиентоориентированный подход при оценке качества системы управления взаимоотношениями с клиентами предприятия / А.В. Быкова // Управление и инновационное развитие предприятия: новые подходы и актуальные исследования – УИРП-2024: материалы международной научно-практической конференции (г. Москва, 21 мая 2024 г.) – Москва: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Изд-во «Янус-К», 2024. – с. 19-25.

3. Быкова, А.В. Проблемы импортозамещения CRM-систем для соответствия требованиям стандарта безопасности жизненного цикла производства продукции / А.В. Быкова // Молодежь и наука: шаг к успеху: сборник научных статей 8-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых (20-21 марта 2025 года) / редкол.: А.А. Горохов (отв. редактор), в 4-х томах, Том 4, – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2025. – с. 117-120.

4. Быкова, А.В. Оптимизация бизнес-процессов эксплуатационной поддержки программного обеспечения / А.В. Быкова // Материалы XV всероссийской конференции с международным участием «Машиностроение: традиции и инновации (МТИ - 2022)». Сборник докладов. – М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2022. – с. 66-73.

5. Быкова, А.В. Внедрение механизмов интеллектуального анализа данных рекламаций и запросов сервисного обслуживания продукции производственного предприятия / А.В. Быкова // Современные машиностроительные системы, технологии и инновации: сборник научных статей Международной научно-технической конференции (6 марта 2025 года). – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2025. – с. 49-53.

6. Быкова, А.В. Методика построения автоматизированной системы управления взаимоотношениями с клиентами на примере бизнес-процесса продажи продукции предприятия / А.В. Быкова // Материалы XVI всероссийской конференции с международным участием «Машиностроение: традиции и инновации (МТИ - 2023)». Сборник докладов. – М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2023. – с. 58-67.

7. Быкова, А.В. Разработка единого информационного пространства предприятия для организации и автоматизации этапа постпроизводственного сопровождения продукции / А.В. Быкова // Молодежь и системная модернизация страны: Сборник научных статей 9-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых (15-16 мая 2025 года). – Курск: ЗАО «Университетская книга». – Том 4. – 2025. – с. 78-81.

8. Быкова, А.В. Внедрение механизма анализа данных запросов сервисного обслуживания и рекламаций на производстве / А.В. Быкова // Управление и инновационное развитие предприятия: новые подходы и актуальные исследования – УИРП-2025: материалы международной научно-практической конференции (г. Москва, 28 мая 2025 г.). – Москва: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН». – Том 1. – 2025. – с. 24-28.