

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Кафедра Прикладная математика и информатика
(наименование)

09.04.03 Прикладная информатика
(код и наименование направления подготовки)

Управление корпоративными информационными процессами
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему «Оптимизация системы учёта, контроля и анализа расходов производственного предприятия»

Обучающийся

А.И. Мирзаханов

(Инициалы Фамилия)



(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., доцент, Д.Г. Токарев

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Оглавление

Введение	3
Глава 1 Анализ современного состояния проблемы оптимизации системы управления расходами производственного предприятия	7
1.1 Обзор и анализ исследований в области создания и обработки учетно-аналитической информации	7
1.2 Обзор и анализ средств оперативной аналитической обработки производственной информации.....	11
Глава 2 Анализ методов и технологий аналитической обработки производственной информации в MES-системах	18
2.1 Архитектурные и функциональные особенности MES-систем	18
2.2 Обзор и анализ ИТ-решений MES-систем	23
2.3 Методы и технологии аналитической обработки производственной информации в MES-системах	28
Глава 3 Модели и алгоритмы аналитической обработки производственной информации в MES-системах.....	35
3.1 Логическое проектирование MES-системы	35
3.2 Разработка модели хранилища данных MES-системы.....	43
3.3 Выбор алгоритмов интеллектуального анализа производственных данных.....	47
Глава 4 Апробация проектных решений и оценка их эффективности.....	54
4.1 Апробация проектных решений	54
4.2 Оценка эффективности проектного решения	65
Заключение	69
Список используемой литературы и используемых источников	72

Введение

Производственные предприятия в настоящее время сталкиваются со все более интенсивной рыночной конкуренцией. Чтобы выжить в этой сложной среде, многие производственные компании инвестируют в интеллектуальные производственные фабрики и внедряют системы управления информацией для содействия развитию своих предприятий. Система учёта, контроля и анализа расходов является важным компонентом системы управления деловой информацией современного производственного предприятия.

Поскольку высокая интеграция между различными информационными системами требует много времени и огромных капиталовложений, еще многое предстоит сделать в области автоматизации бизнес-процессов. Хотя предприятия внедряют системы управления расходами в общий финансовый центр обслуживания с помощью новых информационных технологий, таких как большие данные и облачные вычисления, все еще существуют такие проблемы, как невозможность сбора кросс-системных данных, несвоевременный учет расходов и отчет об анализе фиксированных затрат.

Для решения данных проблем необходимо обеспечить оптимизацию системы учёта, контроля и анализа расходов (далее – системы управления расходами) производственного предприятия.

Не вызывает сомнений, что достоверность результатов анализа производственной деятельности предприятия, а, следовательно, правильность принятых управленческих решений, зависят от качества используемой учетно-аналитической информации.

Таким образом, задачей оптимизации системы управления расходами производственного предприятия является повышения качества учетно-аналитической информации с помощью эффективных методов и алгоритмов ее обработки.

Объектом настоящего исследования является система управления расходами производственного предприятия.

Предметом исследования являются модели и алгоритмы оптимизации системы управления расходами производственного предприятия.

Целью исследования является оптимизация системы управления расходами производственного предприятия с помощью эффективных методов и алгоритмов обработки учетно-аналитической информации.

Для достижения поставленной цели необходимо решать следующие задачи:

- провести анализ современного состояния проблемы оптимизации системы управления расходами производственного предприятия;
- провести анализ методов и технологий обработки учетно-аналитической информации;
- разработать модели и предложить алгоритмы обработки учетно-аналитической информации, обеспечивающие оптимизацию системы управления расходами производственного предприятия;
- выполнить апробацию предлагаемых проектных решений и оценить их эффективность.

Гипотеза исследования: оптимизация системы управления расходами производственного предприятия обеспечит высокое качество учетно-аналитической информации, используемой для поддержки принятия эффективных управленческих решений.

Методы исследования. В процессе исследования будут использованы следующие подходы и методы: системный анализ, методы и технологии обработки учетно-аналитической информации, интеллектуальный анализ данных, машинное обучение.

Новизна исследования заключается в разработке моделей и алгоритмов, которые обеспечат повышение качества учетно-аналитической информации, генерируемой системой управления расходами производственного предприятия.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения предлагаемых методов, моделей и алгоритмов в системах учёта,

контроля и анализа расходов производственного предприятия.

Теоретической основой диссертационного исследования являются научные труды российских и зарубежных ученых, занимающихся проблемами оптимизации систем управленческого учета.

Основные этапы исследования: исследование проводилось с 2022 по 2024 гг. в несколько этапов.

На первом (констатирующем) этапе формулировалась тема исследования, выполнялся сбор информации по теме исследования из различных источников, проводилась формулировка гипотезы, определялись постановка цели, задач, предмета исследования, объекта исследования и выполнялось определение проблематики данного исследования.

Второй этап – поисковый. В ходе проведения данного этапа осуществлялся анализ методов и технологий обработки учетно-аналитической информации, были разработаны модели и алгоритмы, обеспечивающие повышения качества учетно-аналитической информации, опубликована научная статья по теме исследования в научном сборнике.

На третьем этапе осуществлялась апробация предложенных проектных решений, произведена оценка их эффективности, сформулированы выводы о полученных результатах по проведенному исследованию.

На защиту выносятся:

- модели и алгоритмы, обеспечивающие оптимизацию системы управления расходами производственного предприятия;
- результаты апробации и оценки эффективности предлагаемых проектных решений.

По теме исследования опубликована 1 статья:

Мирзаханов А.И. Модель анализа производственной информации в MES-системе // Вестник научных конференций, 2023. № 11-2 (99). С. 93-94.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы и источников.

Во введении обоснована актуальность темы исследования,

представлены объект, предмет, цели, задачи и положения, выносимые на защиту диссертации.

В первой главе дан анализ современного состояния проблемы обеспечения качества учетно-аналитической информации производственного предприятия. Представлены обзор и анализ исследований в области аналитической учетно-аналитической информации. Дан обзор современных средств обработки учетно-аналитической информации.

Вторая глава посвящена анализу методов и технологий аналитической обработки производственной информации. Рассмотрены архитектура и функциональность MES-системы. Проанализированы методологии и технологии аналитической обработки информации в MES-системах.

В третьей главе представлены методы и алгоритмы обработки учетно-аналитической информации в MES-системах. Выполнено логическое проектирование MES-системы и разработана модель ее хранилища данных. Выбраны и описаны алгоритмы интеллектуального анализа учетно-аналитической информации.

В четвертой главе представлены результаты апробация проектных решений и оценка их эффективности. Представлены результаты расчета показателей экономической эффективности и показателя эффективности управления проектного решения.

В заключении приводятся результаты исследования.

Работа изложена на 76 страницах текста и включает в себя 33 рисунка, 9 таблиц, 45 источников.

Глава 1 Анализ современного состояния проблемы оптимизации системы управления расходами производственного предприятия

1.1 Обзор и анализ исследований в области создания и обработки учетно-аналитической информации

Производственный учет охватывает уникальные проблемы из-за сложности производства, труда, затрат на инвентаризацию и методов оценки, характерных для производственных операций.

Независимо от того, работает ли производитель в сфере дискретного производства, дистрибуции или цепочки поставок, учет производственных затрат является уникальной задачей. Возникают вопросы относительно методов оценки запасов. Сложные производственные процессы могут затруднить отслеживание и определение затрат, а правильное распределение косвенных затрат может быть игрой в догадки. Отчетность по этим элементам производственных затрат также является сложной задачей, особенно для удовлетворения потребностей в точных и действенных данных в режиме реального времени для производства, управления, клиентов, поставщиков и общей эффективной производственной бизнес-аналитики[26].

Благодаря анализу учетно-аналитической (далее – производственной информации) руководители производства получают улучшенное представление о работе предприятия за требуемый период времени, что позволяет им быстро выявлять тренды и новые возможности оптимизации [9].

Доступность данных в масштабе всего предприятия обеспечивает своевременное предоставление требуемой информации нуждающимся в ней сотрудникам. Это позволяет контролировать затраты и повышать рентабельность.

Следует отметить, что в специальной литературе отсутствует общепринятое определение производственной информации.

Вместе с тем во многих источниках под производственной информацией

понимается информация, которая «позволяет осуществлять полный оперативный контроль за всеми этапами производственной деятельности предприятия». Иными словами, производственная информация рассматривается как учетно-аналитическая информация, сопровождающая процесс производства готовой продукции на предприятии.

Перечислим основные сведения, которые, как правило, представлены в производственной информации [5]:

- производственные операции;
- движения сырья и материалов;
- задействованные производственные единицы, оборудование и трудовые ресурсы;
- накладные расходы и др.

Под управлением производственной информацией понимают не просто сбор и хранение данных, а их углубленный и детальный анализ для извлечения скрытой в них ценности.

При эффективном управлении производственной информацией данные, генерируемые информационными системами и подразделениями предприятия, используются в сочетании со средствами бизнес-аналитики для формирования достоверной картины состояния производства.

Изолированные данные преобразуются в информационные потоки реального времени, что помогает локализовать проблемы и выявлять закономерности, важные для оптимизации работы.

Таким образом, проблема преобразования производственной информации в актуальную решается на стадии ее аналитической обработки и представляет научно-практический интерес.

При это под аналитической обработкой понимается процесс подготовки данных к анализу.

Это процесс их объединения, приведения к единому формату и очистки с целью дальнейшего анализа и решения других бизнес-задач.

В области аналитической обработки производственной информации

можно выделить работы А.А. Барсегяна, Д.В. Краюшкина, М.С. Куприянова, А. Н. Полуянова, С.В. Мосина, Р. Joroli, L. Lourenço, специалистов компаний IBM, 1С и др.

В работе [10] отмечена актуальность задача разработки автоматизированной системы формирования гиперкуба и представлены методы и алгоритмы формирования многомерного представления данных из реляционного представления при наложении логических ограничений на размерности и при использовании сохраненных данных. Разработана программа формирования гиперкуба из исходного реляционного представления (ROLAP).

Вместе с тем, в работе отсутствуют предложения по применению полученного гиперкуба для анализа оперативных данных конкретной предметной области.

В работе [11] предлагается следующая технологическая последовательность обработки аналитических данных:

«Этап 1. Исходные данные должны быть приведены в нормализованную форму.

Этап 2. Пользовательское представление данных в виде гиперкуба, реализующее технологию OLAP, обеспечивается инструментарием для преобразования исходных данных в гиперкуб.

Этап 3. Гиперкуб далее используется для анализа данных» [11].

В работе [16] представлены алгоритмы проектирования регулярных структур многомерной модели данных, а также принципы комбинированного выполнения запросов к OLAP-серверу, что позволило сократить время выполнения запросов пользователя.

В работе [6] отмечается, что принятие решений должно основываться на реальных данных об объекте управления. «Такая информация обычно хранится в оперативных базах данных OLTP-систем. Но эти оперативные данные не подходят для целей анализа, так как для анализа и принятия стратегических решений в основном нужна агрегированная информация» [6].

Решением данной проблемы является создание отдельного хранилища данных, содержащего агрегированную информацию в удобном виде. Целью построения хранилища данных является интеграция, актуализация и согласование оперативных данных из разнородных источников для формирования единого непротиворечивого взгляда на объект управления в целом.

Хранилище данных и OLAP являются важными элементами, которые фокусируются на отрасли баз данных. Сейчас доступно множество продуктов и услуг, и вся концепция управления основана на принципе управления базами данных. Поддержка принятия решений использует технологию баз данных, но по-разному. сравниваются как традиционная обработка транзакций в режиме реального времени, так и современные приложения обработки транзакций в режиме реального времени.

В статье [25] представлен обзор технологий хранилищ данных и OLAP. Авторы описывают внутренние инструменты для извлечения, очистки и загрузки данных в хранилище данных, внешние клиентские инструменты для запросов и анализа данных, серверные расширения для эффективной обработки запросов, а также инструменты для управления метаданными и управления хранилищем.

В работе [34] отмечается, что оперативная аналитическая обработка относится к общей деятельности по запросу и представлению текстовых и числовых данных из хранилищ данных и/или витрин данных для аналитических целей. Дан обзор OLAP и объясняется, как он используется для поддержки принятия решений. Перед представлением конкретных функций и платформ OLAP рассматривается связь между системами OLAP и репозиториями аналитических данных. Затем представлен обзор функций, общих для всех инструментов OLAP.

Таким образом, как показал анализ источников по теме исследования, теоретические основы оперативной аналитической обработки производственной информации представляет интерес и достаточно хорошо

освящена в специальной литературе.

Вместе с тем, следует констатировать недостаточность публикаций, посвященных разработке моделей и алгоритмов аналитической обработки производственной информации, обеспечивающих повышение эффективности принимаемых управленческих решений, что подтверждает актуальность темы исследования.

1.2 Обзор и анализ средств оперативной аналитической обработки производственной информации

Как показал анализ, существующие системы аналитической обработки информации построены на основе технологии OLAP (OnLine Analytical Processing, оперативная аналитическая обработка данных).

OLAP – это совокупность концепций, принципов и требований, облегчающих аналитикам доступ к данным [3].

Цель OLAP-систем – облегчение решения задач анализа оперативных (в том числе производственных) данных и быстрая обработка сложных запросов к базе данных.

Рассмотрим известные системы аналитической обработки производственной информации.

Рассмотрим характеристики программы «Бизнес-аналитика и KPI» для «1С: Предприятие 8.3».

«Программа «Бизнес-аналитика и KPI» (далее – программа) предназначена для анализа данных предприятия, а также планирования и мониторинга ключевых показателей эффективности (KPI).

Программа позволяет управлять предприятиями на основе точных данных, полученных из различных источников.

По мнению ее вендора, программа может быть отнесена к классу BI-систем (Business intelligence)» [12].

Данные для анализа автоматически собираются из различных баз

«1С:Предприятие 8», xml-файлов, электронной почты, интернет-метрики и ряда других источников.

Основные возможности программы:

- предоставление панели показателей;
- работа с KPI;
- мониторинг показателей;
- подключение различных источников данных;
- аналитическая отчетность и др.

В программе предусмотрена опция консолидации данных, если на предприятии есть разрозненные базы данных, в которых наименования юридических лиц, подразделений и даже ФИО сотрудников заведены немного по-разному.

«Встроенный модуль работы с расчетными показателями позволяет составлять сложные показатели по заданной математической формуле на основании показателей из разных источников.

Руководители предприятий могут легко получить информацию из различных источников от дел в бухгалтерии с оплатой счетов, до посещаемости на вебсайте компании. Различные показатели могут быть сведены в единый объект управления для выполнения быстрой и наглядной оценки эффективности» [12].

В качестве объекта управления могут выступать как отдельные сотрудники, подразделения, так и произвольные объекты, для которых предприятие определило набор показателей для оценки их эффективности.

Программа может работать в режиме веб-клиента в браузере без каких-либо ограничений.

Начальная страница веб-приложения программы представлена на рисунке 1.

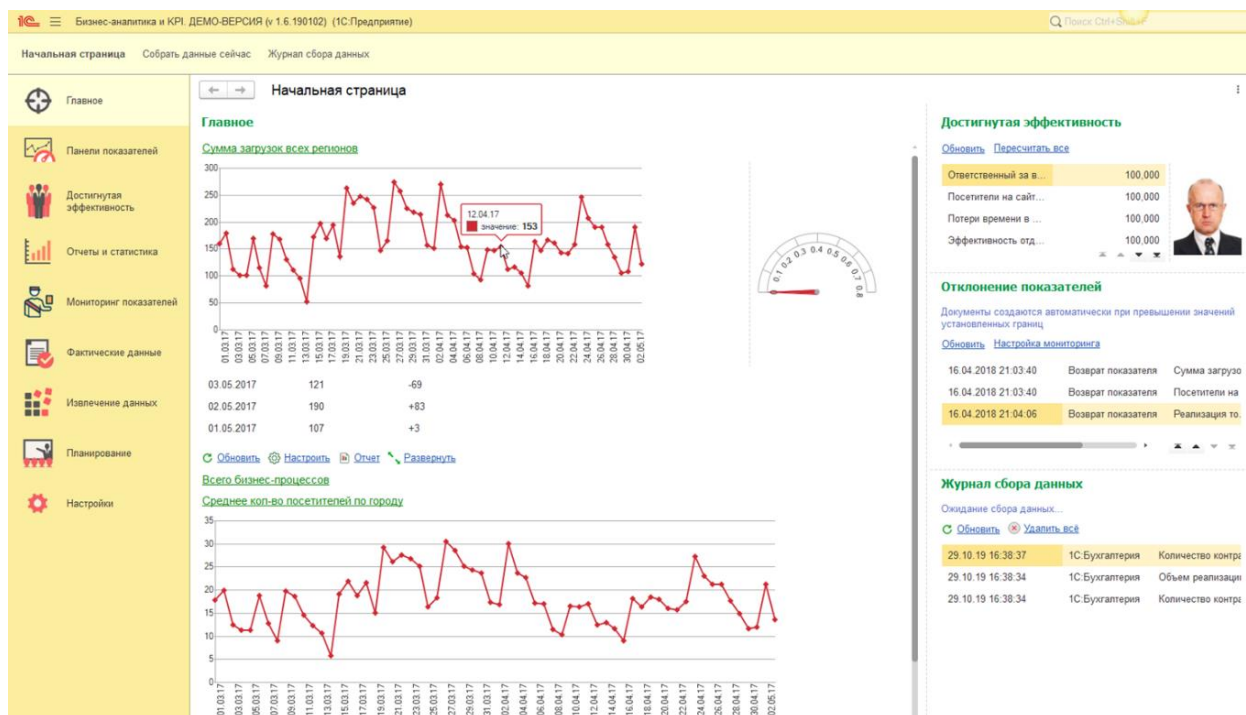


Рисунок 1 – Главная страница веб-приложения программы «Бизнес-аналитика и КРІ»

При настройке объекта необходимо указать набор показателей (в том числе можно использовать и расчетные показатели) и их весовые доли для расчета эффективности.

«AVEVA InSight (далее – решение) – это облачное SaaS-решение для сбора, хранения и визуализации промышленных данных.

Это безопасное решение для сбора, хранения, анализа и визуализации промышленных данных и быстрого принятия верных бизнес – решений.

Продукт объединяет разрозненные данные для наглядного представления того, как работает ваша компания, и позволяет пользователям по всему предприятию получать доступ к данным из любого места.

По мнению вендора, решение AVEVA InSight – это современный, безопасный и экономически эффективный способ сбора и визуализации производственных данных на лету, с минимальной нагрузкой на IT (рисунок 2)» [14].

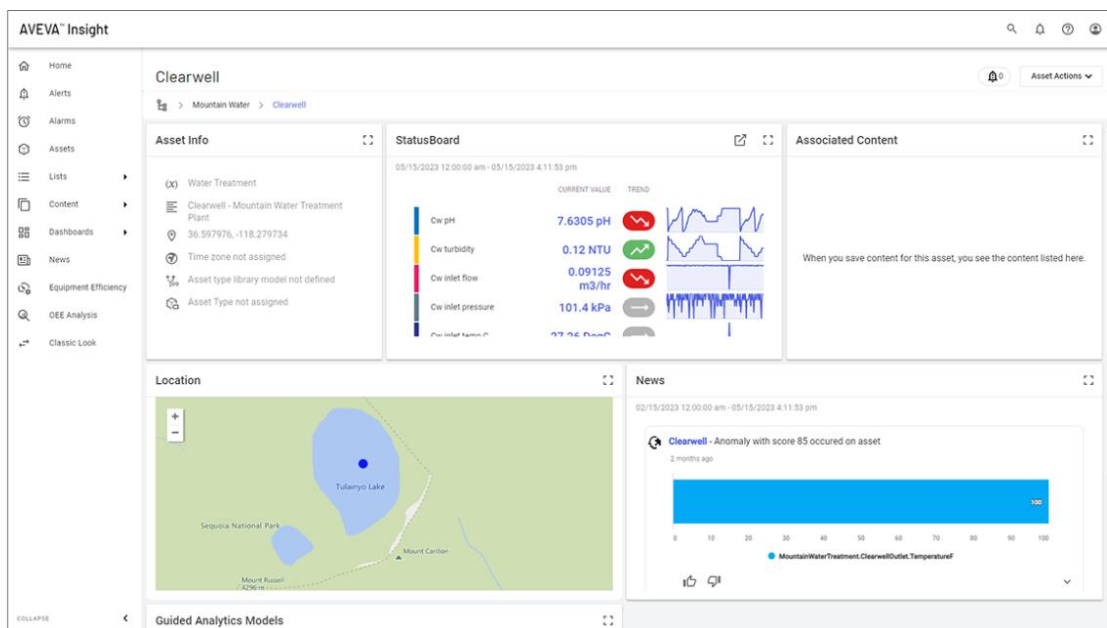


Рисунок 2 – Окно панели информации решения AVEVA Insight

Основные преимущества решения:

- большая емкость данных. Система позволяет обрабатывать миллионы тегов и поддерживать неограниченное число пользователей, что дает клиентам практически неограниченные возможности;
- постоянная актуализация. Сервис непрерывно обновляется без вмешательства со стороны пользователей;
- безопасные, защищенные и надежные соединения благодаря проверенной облачной технологии Microsoft Azure;
- возможности совместной работы. Совместный доступ к операционным данным в масштабе всего предприятия обеспечивает возможность своевременного принятия необходимых мер профильными специалистами;
- доступ к информации из любой точки. Мощные средства анализа и отчетности с визуализацией результатов на интернет-страницах или мобильных устройствах для просмотра в любой момент и в любом удобном месте.

По мнению вендора, решение обеспечивает удобный доступ к результатам анализа информации, генерируемой при работе предприятия.

«Решение IBM InfoSphere Information Server for Data Quality (далее - решение) обеспечивает регулярное выполнение очистки данных и мониторинг их качества с целью преобразования данных в достоверную информацию.

Это решение включает в себя комплексные инструменты для обеспечения качества данных, которые обеспечивают решение следующих задач (рисунок 3):

- обеспечение непрерывного анализа и мониторинга качества данных;
- очистка, стандартизация и сопоставление данных;
- согласование данных и отслеживание их происхождения» [15].

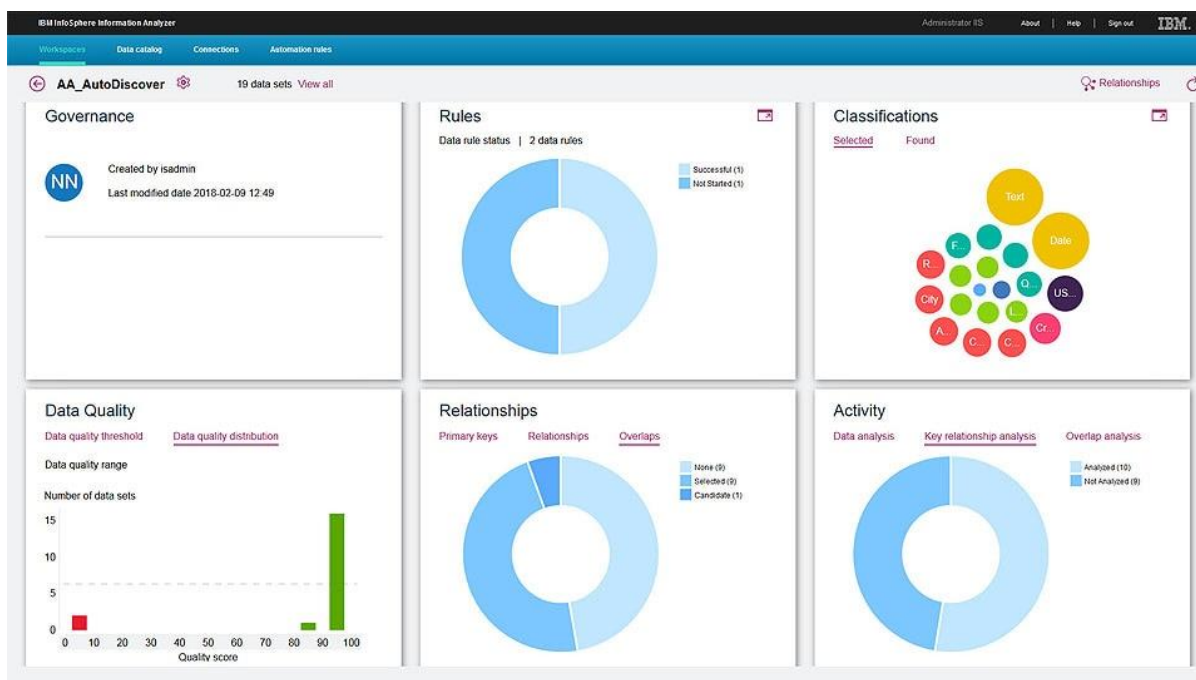


Рисунок 3 – Окно выбора функций решения IBM InfoSphere Information Server

Основные функции решения:

- очистка данных;
- мониторинг и поддержание качества данных;
- гибкие возможности развертывания и др.

Решение помогает аналитикам разобраться в своих данных, понять, как они связаны между собой.

«Оно позволяет своевременно обнаружить проблемы с качеством промышленных данных и формирует план для их решения на основе показателей согласно бизнес-целям предприятия» [15].

Необходимо отметить, что все описанные системы универсальны и позволяют решить проблему обеспечения повышения качества аналитической информации.

Однако они недостаточно эффективны для решения задач обработки производственной информации ввиду функциональной избыточности и сложности интеграции в производственный процесс предприятия.

Следует напомнить, что аналитическая обработка производственной информации входит в задачи информационных MES-систем, относящихся к категории систем управления производством.

Manufacturing Execution Systems (MES) – это критически важные программные решения, которые управляют, контролируют и синхронизируют выполнение производственных процессов в реальном времени. Они служат мостом между системами корпоративного уровня, такими как ERP (Enterprise Resource Planning), и производственным цехом, гарантируя, что производственные операции оптимизированы и эффективны [29].

MES играет важную роль в современном производстве, предоставляя инструменты и идеи, необходимые для оптимизации производственных процессов и достижения эксплуатационного совершенства. Внедряя MES, производители могут повысить эффективность, улучшить качество продукции и получить конкурентное преимущество на рынке.

Поэтому представляется более целесообразным рассмотреть и проанализировать методы и технологии обработки учетно-аналитической информации, используемые в MES-системах.

Выводы по главе 1

Результаты работы, проделанной в главе 1, позволили сделать следующие выводы:

- производственная информация рассматривается как учетно-аналитическая информация, сопровождающая процесс производства готовой продукции на предприятии;
- проблема преобразования производственной информации в актуальную решается на стадии ее аналитической обработки и представляет научно-практический интерес;
- анализ известных ИТ-решений показал, что они недостаточно эффективны для решения задач обработки производственной информации ввиду функциональной избыточности и сложности интеграции в производственный процесс предприятия.

Как показал анализ источников по теме исследования, аналитическая обработка производственной информации входит в задачи информационных MES-систем, относящихся к категории систем управления производством.

Поэтому представляется более целесообразным рассмотреть и проанализировать методы и технологии обработки учетно-аналитической информации, используемые в современных MES-системах.

Глава 2 Анализ методов и технологий аналитической обработки производственной информации в MES-системах

В работе [7] дан подробный обзор методов аналитической обработки информации.

«Отмечается, что в большинстве случаев информация поступает в аналитические системы в неструктурированной текстовой форме (сообщения информационных агентств, сводки, статьи, иные документы), в различных форматах (плоский текст, HTML, форматы MS Office и т.д.).

Работа с такой информацией осуществляется за счет ее преобразования к единому внутрисистемному формату и применения различных методов полнотекстового поиска и выявления статистических взаимосвязей терминов» [7].

Однако следует учесть, что производственная информация является учетно-аналитической и для ее сбора в MES-системах используется оперативная транзакционная обработка данных (OLTP), которые хранятся в строго структурированной форме в реляционных базах данных.

В этой связи необходимо рассмотреть возможность использования методов оперативной аналитической обработки производственной информации, используемых в современных MES-системах.

2.1 Архитектурные и функциональные особенности MES-систем

MES – это программные решения, которые гарантируют, что качество и эффективность встроены в производственный процесс, а также упреждающе и систематически применяются.

Ключевые функции MES:

- планирование производства. MES помогает в планировании и составлении графика производственной деятельности, гарантируя эффективное распределение ресурсов и выполнение

- производственных целей;
- управление ресурсами, такими как оборудование, рабочая сила и материалы, для оптимизации их использования и сокращения простоев;
- управление качеством: контролирует производственные процессы, чтобы гарантировать, что продукция соответствует стандартам качества, и помогает выявлять и устранять дефекты;
- «сбор и анализ данных: собирает данные в реальном времени с цеха, предоставляя информацию о производительности производства и помогая в принятии решений;
- анализ производительности: анализирует ключевые показатели производительности (KPI)» [29], такие как объем производства, время цикла и эффективность оборудования, для выявления областей для улучшения;
- прослеживаемость и соответствие: отслеживает материалы и продукты на протяжении всего производственного процесса, чтобы обеспечить прослеживаемость и соответствие отраслевым нормам;
- управление запасами: управляет уровнями запасов, чтобы гарантировать, что материалы и компоненты доступны при необходимости, сокращая отходы и затраты на транспортировку [29].

MES-система – это мост, который соединяет верхний уровень планирования и нижний уровень управления предприятия.

Современный промышленный уровень компьютерного интегрированного управления (СІМ) для перерабатывающих отраслей в настоящее время сосредоточен на интеграции между ERP (Enterprise Resource Planning), MES и системой управления процессами PCS (Process Control System) [35].

Согласно стандарту ISA-95 концепция СІМ включает в себя:

- планирование;
- формирование производственных графиков;

- оптимизацию;
- эффективный контроль процесса;
- регулирование процесса;
- средства управления, датчики и другое техническое оборудование.

На рисунке 4 представлена эталонная модель взаимодействия ERP/MES/PCS.

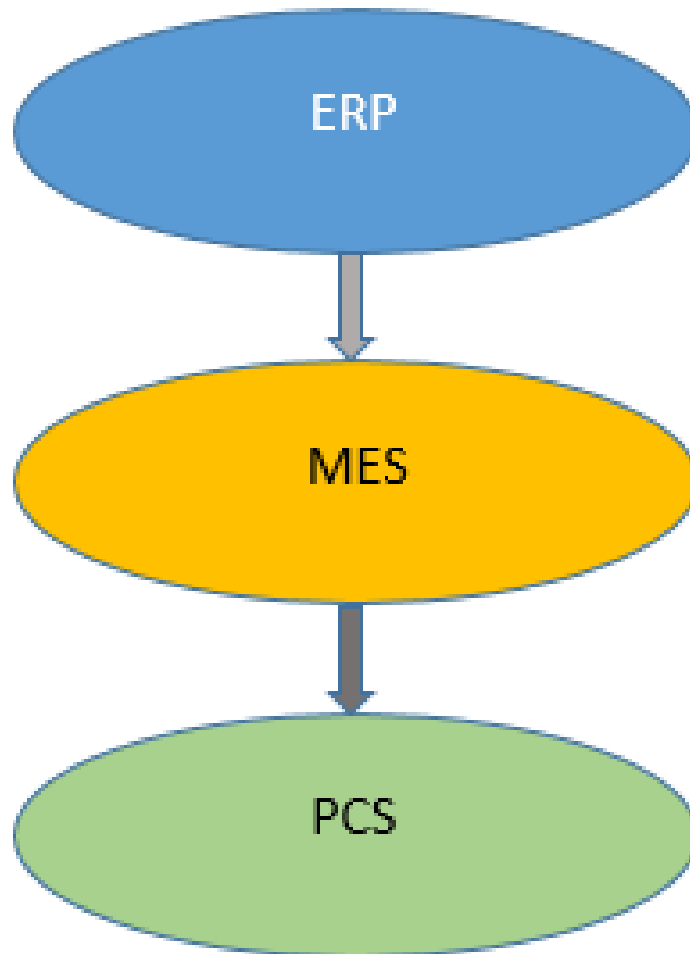


Рисунок 4 – Эталонная модель взаимодействия ERP/MES/PCS

На рисунке 5 изображена схема потока производственной информации, используемой в управлении производством согласно данной эталонной модели.

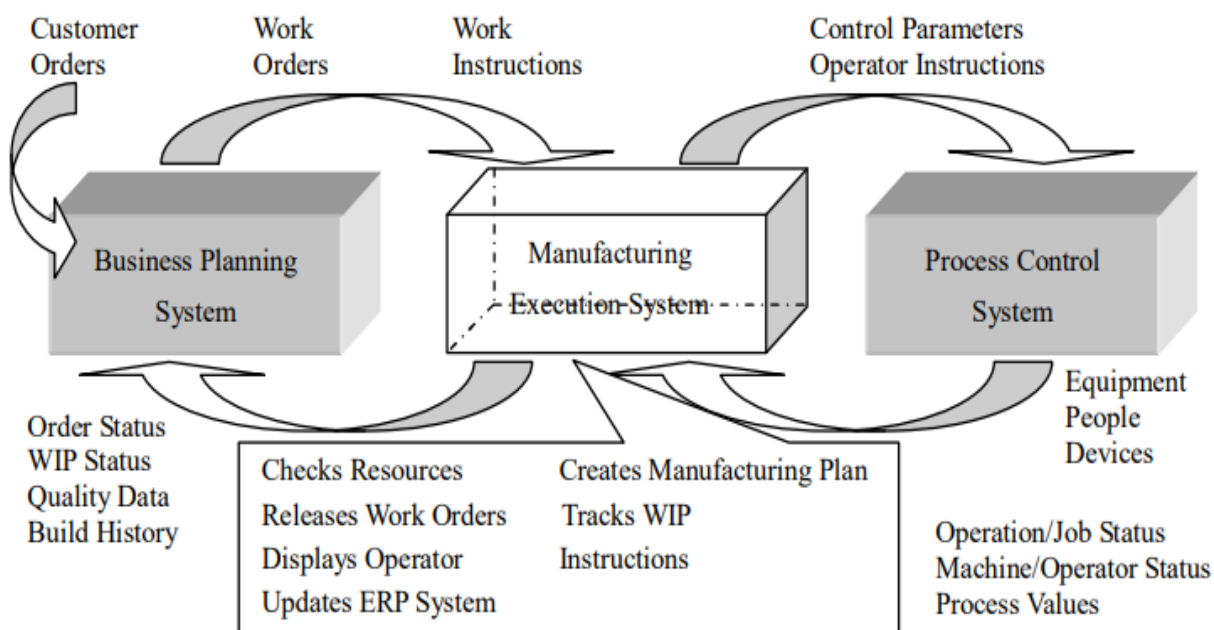


Рисунок 5 – Схема потока производственной информации

Преимущества внедрения MES:

- повышенная эффективность: оптимизирует производственные процессы, сокращает время простоя и улучшает использование ресурсов;
- улучшенный контроль качества: повышает качество продукции за счет мониторинга производственных процессов и раннего выявления дефектов;
- «видимость в реальном времени: обеспечивает понимание производственных операций в реальном времени, что позволяет быстро реагировать на проблемы и принимать более обоснованные решения;
- оптимизация расходов: снижает производственные затраты за счет оптимизации использования ресурсов, минимизации отходов и улучшения управления запасами» [45];
- улучшенное соответствие: обеспечивает соответствие отраслевым стандартам и нормам за счет улучшенной прослеживаемости и документирования;

- улучшенное сотрудничество: облегчает коммуникацию и сотрудничество между различными отделами и уровнями организации.

На рисунке 6 показана архитектура типовой MES-системы [23].

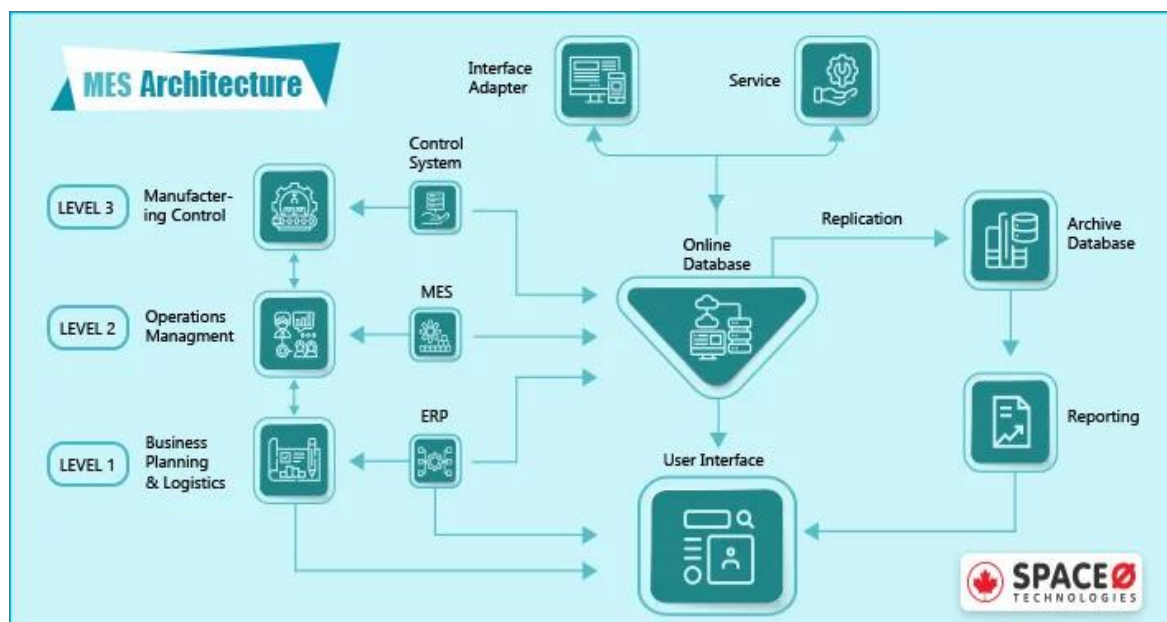


Рисунок 6 – Архитектура типовой MES-системы

Как следует из рисунка, архитектура MES-системы имеет трехуровневое представление.

Уровень 1 (Level 1) описывает роль ERP-системы для бизнес-планирования и логистики, которая включает в себя создание основного графика производства продукции и временных рамок для производства, использования материалов, доставки и отгрузки.

Уровень 2 (Level 2) описывает управление производственными операциями, которое включает подробный рабочий процесс для производства желаемых конечных продуктов. Команда также ведет учет и оптимизирует производственный процесс.

Уровень 3 ((Level 3) определяет собственно систему управления производством, которая отслеживает и автоматизирует процесс управления производством – от незавершенного производства до выпуска готовой

продукции. Данный уровень включает в себя базовое управление, диспетчерский контроль, измерение показателей процесса и управление процессом.

«Интеграция систем MES с промышленным Интернетом вещей (IIoT) является значимой тенденцией. Системы MES используют технологии IIoT для сбора данных с датчиков, машин и подключенных устройств в режиме реального времени. Эта интеграция обеспечивает улучшенную видимость, предиктивную аналитику, удаленный мониторинг и оптимизацию производственных процессов.

Системы MES используют возможности аналитики больших данных для обработки и анализа огромных объемов данных, генерируемых в производственных операциях. Алгоритмы расширенной аналитики и методы машинного обучения применяются для выявления закономерностей, корреляций и действенных идей.

Это помогает оптимизировать производство, повысить качество и обеспечить предиктивное обслуживание» [43].

2.2 Обзор и анализ ИТ-решений MES-систем

Рассмотрим архитектурные и функциональные особенности зарубежных и отечественных ИТ-решений MES-систем.

Система Katana (далее – система) представляет собой MES-систему, которая обеспечивает управление производством в режиме реального времени [27].

Программное обеспечение системы предоставляет пользователям оперативные данные, необходимые им для согласования производства и выполнения заказов.

Облачные решения, в частности, идеально подходят для растущих команд, которым нужна полная прозрачность в любое время.

Интеллектуальная производственная платформа системы упрощает

управление командой менеджеров и задачами.

Она позволяет получить полное представление о задачах, назначенных сотрудникам цеха, а также о ходе производства для менеджеров по качеству (рисунок 7).

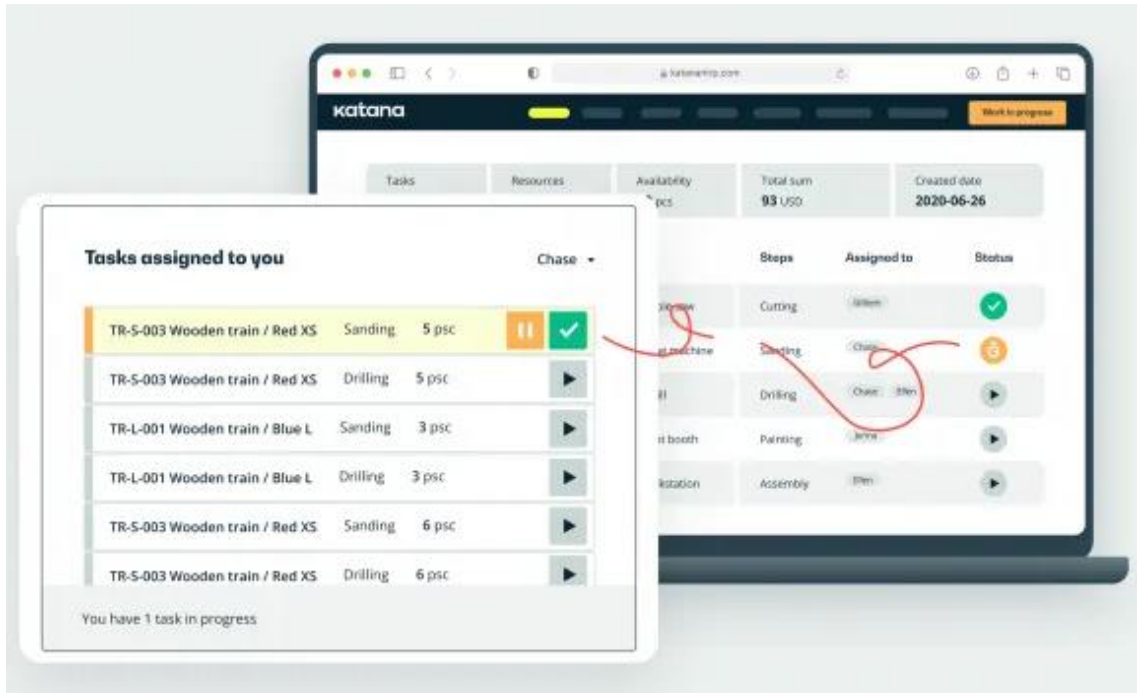


Рисунок 7 – Панель мониторинга производственных задач Katana

Управление несколькими источниками данных, командами и хранилищами с помощью программного обеспечения системы в конечном итоге снизит затраты за счет повышения эффективности и прозрачности.

Открытый API системы позволяет интегрировать ее с различными приложениями для создания пользовательских рабочих процессов, например, платформу облачной аналитики Easy Insight.

Подключив Easy Insight к системе, можно быстро получать доступ к готовым панелям мониторинга, редактировать существующие отчеты или создавать собственные с использованием данных системы.

Система Katana автоматизирует передачу данных между службами, которыми менеджеры пользуются ежедневно, чтобы повысить

эффективность.

MANUFACTURO – это динамичное облачное программное решение, разработанное для современной быстро меняющейся производственной отрасли. Объединяя разрозненные системы в одну единую платформу, ваша организация без усилий оптимизирует операции, повышает точность данных и повышает эффективность работы. Девиз вендора системы – «Наши ключевые отличия – это ваше новое конкурентное преимущество».

Прослеживаемость и управление несоответствиями – это всего лишь два примера передовых в отрасли возможностей, которые демонстрируют уникальную ценность Manufacturo (рисунок 8) [30].

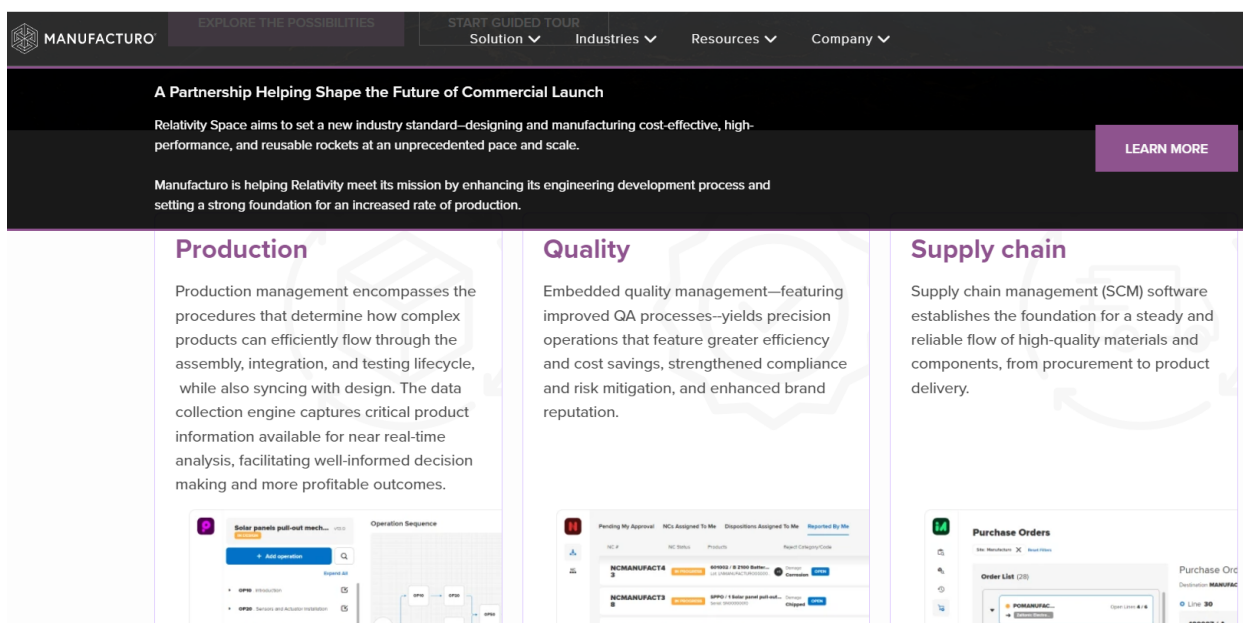


Рисунок 8 – Главная страница сайта MANUFACTURO

Передовая прослеживаемость, поддерживаемая передовой технологией мониторинга, дает вам целостное представление о ваших производственных операциях. От проверки материалов, поступающих на ваше предприятие, до отгрузки клиентам вы получите повышенную безопасность, соответствие и эффективность работы, обусловленные ситуационной осведомленностью в реальном времени, которая доступна вам под рукой. Наше встроенное

решение по управлению несоответствиями легко интегрируется с производственными, инвентаризационными и качественными процессами вашей организации.

Выявление, отслеживание и контроль дефектных материалов в вашем рабочем заказе – из любой точки мира и в любое время – возможны одним нажатием кнопки.

Программный продукт (ПП) «1С: MES Оперативное управление производством предназначен для решения задач оперативного планирования, диспетчеризации производственных процессов и контроля качества» [13].

Функциональная архитектура ПП представлена на рисунке 9.

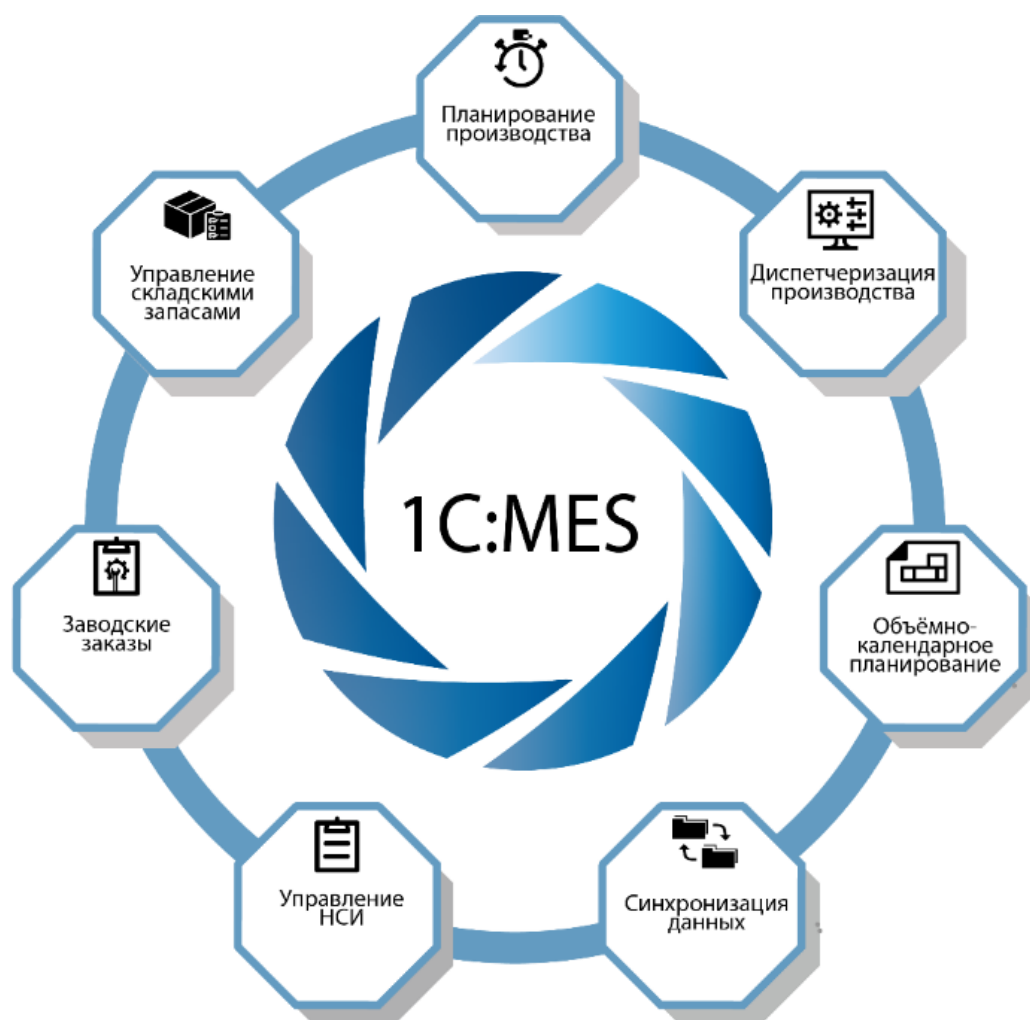


Рисунок 9 – Функциональная архитектура ПП «1С:MES Оперативное управление производством»

«Конфигурация ПП может применяться как самостоятельное решение для комплексного управления производственным процессом в целом на пооперационном уровне (за исключением финансово-экономических расчетов), так и совместно с ERP-системами, когда задачи выполнения экономических расчетов решаются на уровне ERP системы, а вопросы пооперационной оптимизации и управления производством на MES – уровне.

Схема оперативного управления производственным процессом в концепции 1С: MES представлена на рисунке 10» [13].

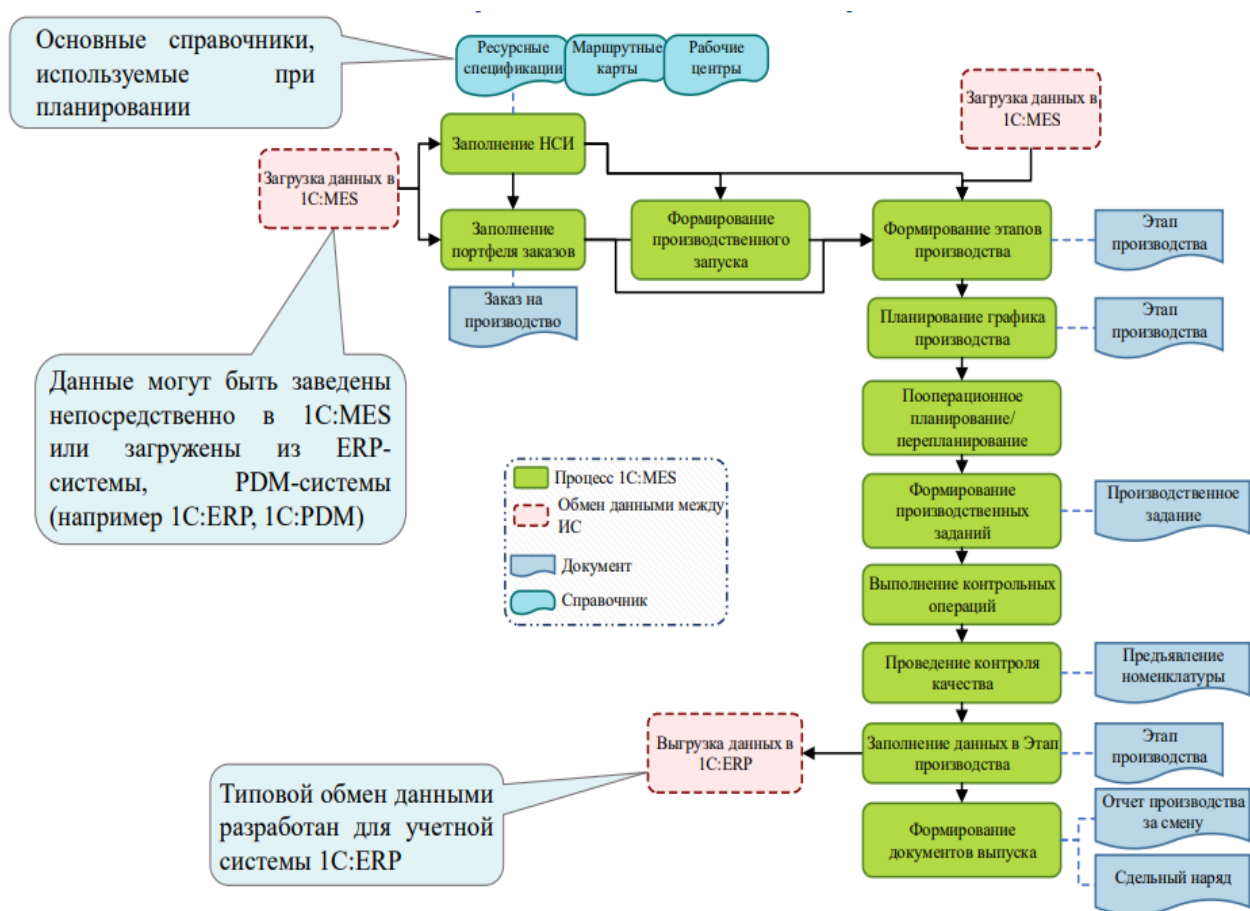


Рисунок 10 – Схема оперативного управления производственным процессом в концепции 1С: MES

«Следует отметить, что в ПП для решения задач построения расписания применяется эвристический алгоритм, сочетающий «жадные» стратегии и стратегии ограниченного перебора, элементы теории графов» [28].

Для реализации предлагаемых в работе моделей и алгоритмов аналитической обработки производственной информации используется модуль «Внешние отчеты».

Для анализа возможности применения указанных систем для решения задач повышения эффективности аналитической обработки производственной информации используем таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ аналогов MES-системы

Характеристика/балл (0-3)	Katana	MANUFACTURO	1C: MES
Функциональная полнота	2	1	2
Встроенная аналитическая отчетность	3	3	3
Простота внедрения в производственный процесс	1	2	3
Простота интеграции в КИС предприятия	1	1	3
Итого	7	7	11

Как показал сравнительный анализ существующих аналогов, наилучшими характеристиками обладает ПП 1C: MES.

Использование данного решения отвечает стратегии импортозамещения программного обеспечения на предприятиях России.

Кроме того, простота интеграции данного ПП в КИС предприятия обусловлена высокой вероятностью организации ядра последней на решениях 1C.

2.3 Методы и технологии аналитической обработки производственной информации в MES-системах

«Как показал анализ источников по теме исследования, для аналитической обработки информации в современных MES-системах широко применяются методы и технологии интеллектуального анализа данных (Data

mining)» [18].

«Прежде всего это связано с появлением решений, относящихся к категории «умных» MES-систем [19].

«Интеллектуальный анализ данных играет важную роль в системах управления производством (MES), позволяя организациям анализировать большие объемы данных, генерируемых в ходе производственных процессов. Извлекая ценные сведения и закономерности из этих данных, компании могут оптимизировать операции, повышать качество и совершенствовать процесс принятия решений» [18].

Вот некоторые основные методы интеллектуального анализа данных, обычно используемые в системах MES:

- классификация: этот метод классифицирует данные по предопределенным классам. В MES классификация может помочь в определении качества продукции (например, классификация продукции как «пройденной» или «не пройденной») на основе различных атрибутов, собранных в ходе производства;
- регрессия: регрессионный анализ используется для прогнозирования непрерывных числовых значений на основе входных переменных. В MES его можно применять «для прогнозирования сроков производства, затрат или других ключевых показателей эффективности (KPI) на основе исторических данных»;
- кластеризация: кластеризация группирует похожие точки данных вместе, что позволяет выявлять закономерности и аномалии. В MES кластеризация может использоваться для сегментации производственных процессов» [18], выявления похожих производственных циклов или группировки клиентов на основе покупательского поведения;
- анализ правил ассоциаций: этот метод обнаруживает интересные взаимосвязи между переменными в больших наборах данных. В контексте MES он может помочь выявить корреляции между

- параметрами процесса и качеством продукции, что позволяет лучше контролировать производственные процессы;
- анализ временных рядов: анализ временных рядов фокусируется на данных, собранных с течением времени, для выявления тенденций, сезонных закономерностей и циклов. В MES это может использоваться для прогнозирования спроса, мониторинга производительности оборудования и анализа тенденций производства с течением времени;
 - «обнаружение аномалий: этот метод выявляет неожиданные изменения или выбросы в данных. В MES обнаружение аномалий может иметь решающее значение для раннего выявления отказов оборудования, проблем с качеством или отклонений от стандартных рабочих процедур» [18];
 - нейронные сети: это передовые алгоритмы машинного обучения, которые могут моделировать сложные взаимосвязи в данных. В MES нейронные сети могут использоваться для таких задач, как прогнозирование отказов оборудования, оптимизация производственных графиков или улучшение контроля качества;
 - алгоритмы машинного обучения: различные методы машинного обучения, включая контролируемое и неконтролируемое обучение, могут использоваться для автоматизации анализа данных и повышения точности прогнозирования. Эти алгоритмы могут адаптироваться к новым данным, постоянно улучшая свою производительность с течением времени;
 - деревья решений: этот метод включает создание модели, которая прогнозирует значение целевой переменной на основе нескольких входных переменных. В MES деревья решений могут помочь в принятии решений, связанных с корректировкой процесса, распределением ресурсов или мерами контроля качества;
 - текстовый анализ: если системы MES собирают неструктурированные

данные (например, журналы обслуживания, заметки оператора), методы текстового анализа могут применяться для извлечения полезной информации и идей из этих текстовых данных.

На рисунке 11 представлена модель анализа производственной информации в MES-системе по методологии Data mining.



Рисунок 11 – Модель анализа производственной информации в MES-системе

«Хранение и интеграция данных: данные, поступающие из цеха, должны быть преобразованы в единый формат для обеспечения их эффективного анализа. Традиционно преобразование обычно выполняется в конкретном модуле» [23].

Механизм анализа данных: после загрузки в хранилище и интеграции данные перемещаются в подсистему анализа данных для извлечения полезной информации для приложения.

Набор передаваемых данных определяется строителем модели.

«Построитель моделей строит модель анализа и определяет выходные данные, связывая соответствующий метод подготовки и интеллектуального анализа данных с параметрами для конкретной задачи анализа» [23].

Представление производственных данных может быть изменено, поскольку предлагаются различные критерии качества, производственного процесса и отслеживания незавершенного производства для нового продукта.

Кроме того, модели данных могут быть изменены при вводе новых датчиков или устройств. Построитель моделей может решать задачи создания или обновлением модели. После анализа модуль визуализации и отчетов обрабатывает результат анализа данных, чтобы пользователь мог понять, что означает результат. Визуализированный материал или отчет можно передать через веб-интерфейс лицу, принимающему решение.

Обработка событий: в этот модуль поступает результат анализа данных.

Каждый результат анализа данных рассматривается как событие.

Фильтр событий видит каждое из событий и записывает, фиксируя ненормальную или нормальную ситуацию.

Он передается абстракции событий. Затем абстракция событий преобразует отфильтрованное событие так, чтобы приложение MES-системы могло его понять.

Абстрагированное событие поступает в диспетчер взаимодействия с приложением через интерфейс приложения. Хранилище правил определяет правила фильтрации и правила абстракции.

В таблице 2 представлены форматы событийных данных.

Таблица 2 – Форматы событийных данных

Прогнозирование	Классификация	Кластеризация
EventID	EventID	EventID
timestamp	timestamp	timestamp
Имя проекта анализа данных	Имя проекта анализа данных	Имя проекта анализа данных

Продолжение таблицы 2

Прогнозирование	Классификация	Кластеризация
Имена зависимых переменных	Имена зависимых переменных	Область выбранного кластера
Прогнозируемое значение	Результат классификации	

В работе [38] представлена информационная матрица для определения перспектив применения методов Data mining в управлении производственными операциями.

Фрагмент данной матрицы приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Применение методов Data mining в управлении производственными операциями

Целевая группа	Подгруппа	Метод
Определение оптимальных производственных параметров	Определение критических параметров процесса	Регрессия, классификация, кластеризация
	Анализ производственных процессов	Интеллектуальный анализ правил ассоциации, классификация (дерево решений), кластеризации ROLAP
	Оптимизация настроек параметров	Регрессия, классификация, кластеризация
Прогнозирование выполнения процесса	Прогнозирование производительности производственного процесса	Байесовский метод, выбор модели и перекрестная проверка
	Прогнозирование поведения производственного процесса	Дерево решений
	Прогноз по готовой продукции	Методы Data mining

На основании данных матрицы можно сделать вывод, что наибольшую эффективность анализа производственных процессов в MES-системах обеспечивают: технология ROLAP для построения хранилища данных, методы кластеризации и классификации [31].

Выводы по главе 2

В главе 2 магистерской диссертации представлен анализ методов и технологий аналитической обработки производственной информации.

Результаты проделанной работы позволили сделать следующие выводы:

- современный промышленный уровень компьютерного интегрированного управления (СІМ) для перерабатывающих отраслей в настоящее время сосредоточен на интеграции между ERP, MES и системой управления процессами PCS;
- необходимо рассмотреть возможность использования методов оперативной аналитической обработки информации и Data mining, используемых в современных MES-системах;
- представление производственных данных может быть изменено, поскольку предлагаются различные критерии качества, производственного процесса и отслеживания незавершенного производства для нового продукта.

Как показал анализ, наибольшую эффективность обработки производственной информации в MES-системах обеспечивают технология ROLAP для построения хранилища данных, а также методы кластеризации и классификации данных.

Глава 3 Модели и алгоритмы аналитической обработки производственной информации в MES-системах

3.1 Логическое проектирование MES-системы

Процесс разработки программного обеспечения включает в себя ряд действий, направленных на разработку высококачественного программного обеспечения (ПО).

Одним из наиболее часто используемых архитектурных представлений является логическое представление, которое представляет объекты системы и их отношения.

По этой причине логическая модель системы в нотации UML является одной из наиболее часто используемых моделей разработчиками программного обеспечения

«Для разработки логической модели MES-системы используем объектно-ориентированный подход к анализу и проектированию информационных систем.

При построении логической модели ИС используется методология объектно-ориентированного проектирования.

В качестве технологии логического проектирования MES-системы используем технологию RUP (Rational Unified Process)» [39].

«RUP разделяет жизненный цикл проекта разработки программного обеспечения ИС на четыре фазы: начало, уточнение, построение, внедрение.

На каждом из этапов выполняются все шесть основных дисциплин разработки: бизнес-моделирование, требования, анализ и проектирование, реализация, тестирование и развертывание.

Основная цель RUP – создание высококачественного программного обеспечения с предсказуемым бюджетом и временными рамками.

Методологическую основу RUP составляют объектно-ориентированный подход и Agile-концепция разработки программного обеспечения, которая

разделяет его разработку на четыре этапа.

Каждый из этапов состоит из одной или нескольких исполняемых итераций ПО на данном этапе разработки: начало, разработка, построение, переход» [8].

Для разработки диаграмм UML используем бесплатный онлайн-ресурс Visual Paradigm [42].

Рассмотрим процесс построения диаграммы вариантов использования.

Вариант использования (обозначение: овал/эллипс) представляет системную транзакцию с внешним системным пользователем, называемым актором. Варианты использования иногда считаются функциональными требованиями высокого уровня [40].

Диаграмма вариантов использования показывает коммуникации между системными транзакциями (вариантами использования) и внешними пользователями (актерами) в контексте границы системы (обозначение: прямоугольник).

Акторы могут представлять программное обеспечение (персоны, организации, объекты), программные системы или аппаратные системы.

Определение отношений между субъектом системы и актерами системы является эффективным неформальным способом определения области действия системы [8].

Цель диаграмм вариантов использования – предоставить высокоуровневое представление субъектной системы и передать системные требования верхнего уровня в нетехнических терминах для всех заинтересованных сторон, включая клиентов и менеджеров проектов, а также архитекторов и инженеров.

Для указания масштабируемой и имитируемой модели архитектуры системы необходимы дополнительные более строгие диаграммы UML.

На основе анализа функциональности известных решений были выделены следующие акторы MES-системы:

– специалист планово-экономического отдела (ПЭО);

- специалист производственно-диспетчерского отдела (ПДО);
- специалист отдела материально-технического обеспечения (ОМТО);
- менеджер производственного подразделения (ПП).

Варианты использования MES-системы описаны в таблицах 4-7.

Таблица 4 – Диспетчеризация производства

«Элемент диаграммы	Описание
Прецедент	Диспетчеризация производства
ID	1
Краткое описание	Диспетчеризация производства
Главный актер	Специалист ПДО
Второстепенный актер	Нет
Предусловие	Нет
Основной поток	Специалист ПДО формирует производственные задания
Постусловие	Нет
Альтернативные потоки	Нет» [40]

Таблица 5 – Оперативное планирование производства

«Элемент диаграммы	Описание
Прецедент	Оперативное планирование производства
ID	2
Краткое описание	Оперативное планирование производства
Главный актер	Специалист ПЭО
Второстепенный актер	Нет
Предусловие	Нет
Основной поток	Специалист ПЭО формирует оперативный производственный план
Постусловие	Нет
Альтернативные потоки	В случае необходимости специалист ОМТО согласует оперативный план со Специалистом ПЭО» [40]

Таблица 6 – Анализ производственной информации

«Элемент диаграммы	Описание
Прецедент	Анализ производственной информации
ID	3
Краткое описание	Анализ производственной информации для принятия управленческого решения
Главный актер	Менеджер ПП
Второстепенный актер	Нет
Предусловие	Нет
Основной поток	Менеджер ПП анализирует производственную информацию для принятия управленческого решения
Постусловие	Нет
Альтернативные потоки	Нет» [40]

Таблица 7 – Управление производством

«Элемент диаграммы	Описание
Прецедент	Управление производством
ID	4
Краткое описание	Принятие управленческого решения
Главный актер	Менеджер ПП
Второстепенный актер	Нет
Предусловие	Формирование аналитического отчета
Основной поток	Менеджер ПП принимает управленческое решение
Постусловие	Нет
Альтернативные потоки	Нет» [40]

В методологии RUP на этапе внедрения основное внимание уделяется обеспечению доступности ПО системы для пользователей. Этап перехода может охватывать несколько итераций и включает в себя тестирование продукта при подготовке к выпуску и внесение незначительных корректировок на основе отзывов пользователей.

Цель этапа внедрения – обеспечить готовность ПО к передаче пользователям.

Таким образом, диаграмма вариантов использования строится с учетом функциональных требований, которые предъявляются к конкретной MES-

системе [32].

На рисунке 12 изображена диаграмма вариантов использования MES-системы, разработанная на основе представленных выше таблиц прецедентов.

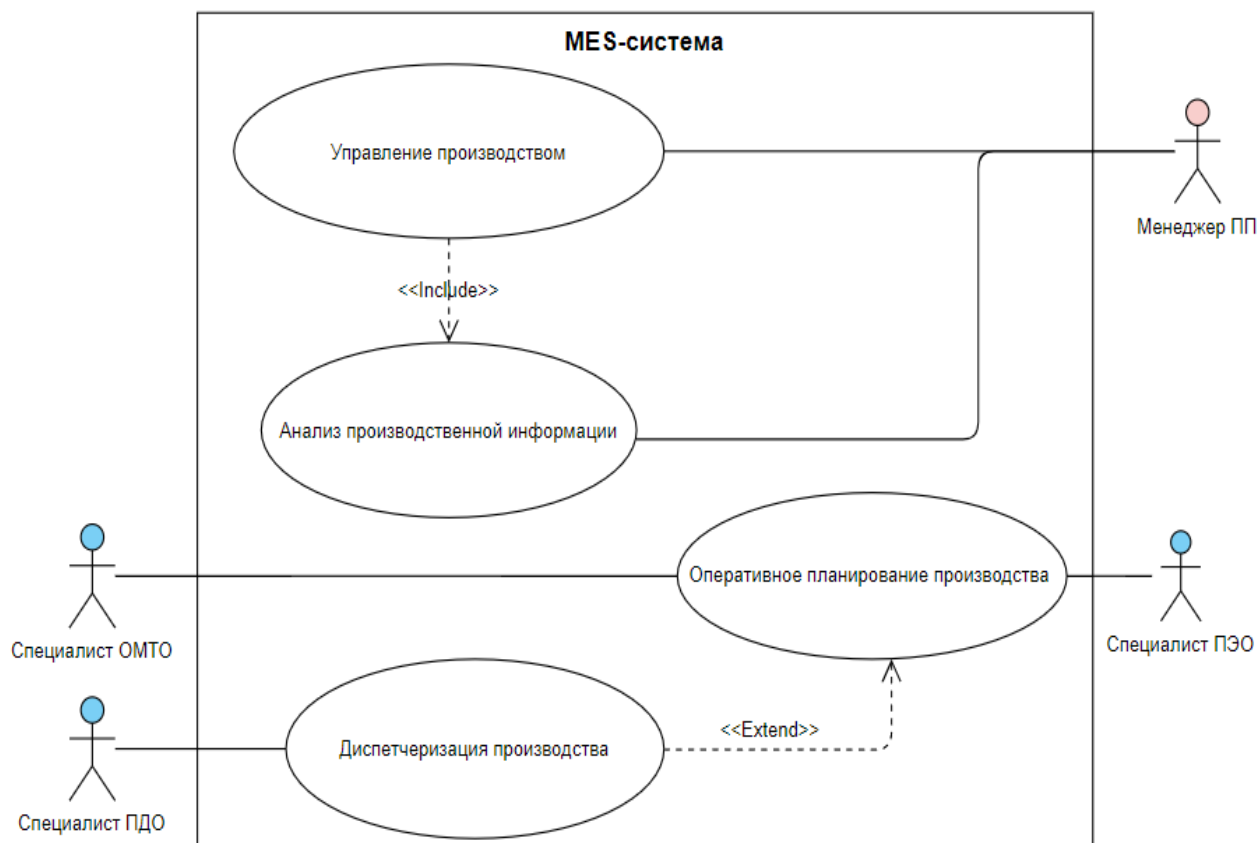


Рисунок 12 – Диаграмма вариантов использования MES-системы

«Диаграммы классов представляют экземпляр класса или классы объектов, и, следовательно, рассматриваются как статическое представление класса в определенный момент.

Диаграммы объектов выводятся из диаграмм классов и, следовательно, зависят от диаграмм классов.

Они представляют экземпляр класса или классов и, следовательно, рассматриваются как статическое представление класса в определенный момент.

Диаграммы классов являются абстрактными представлениями и рассматриваются как чертеж» [20].

Диаграмма классов MES-системы изображена на рисунке 13.

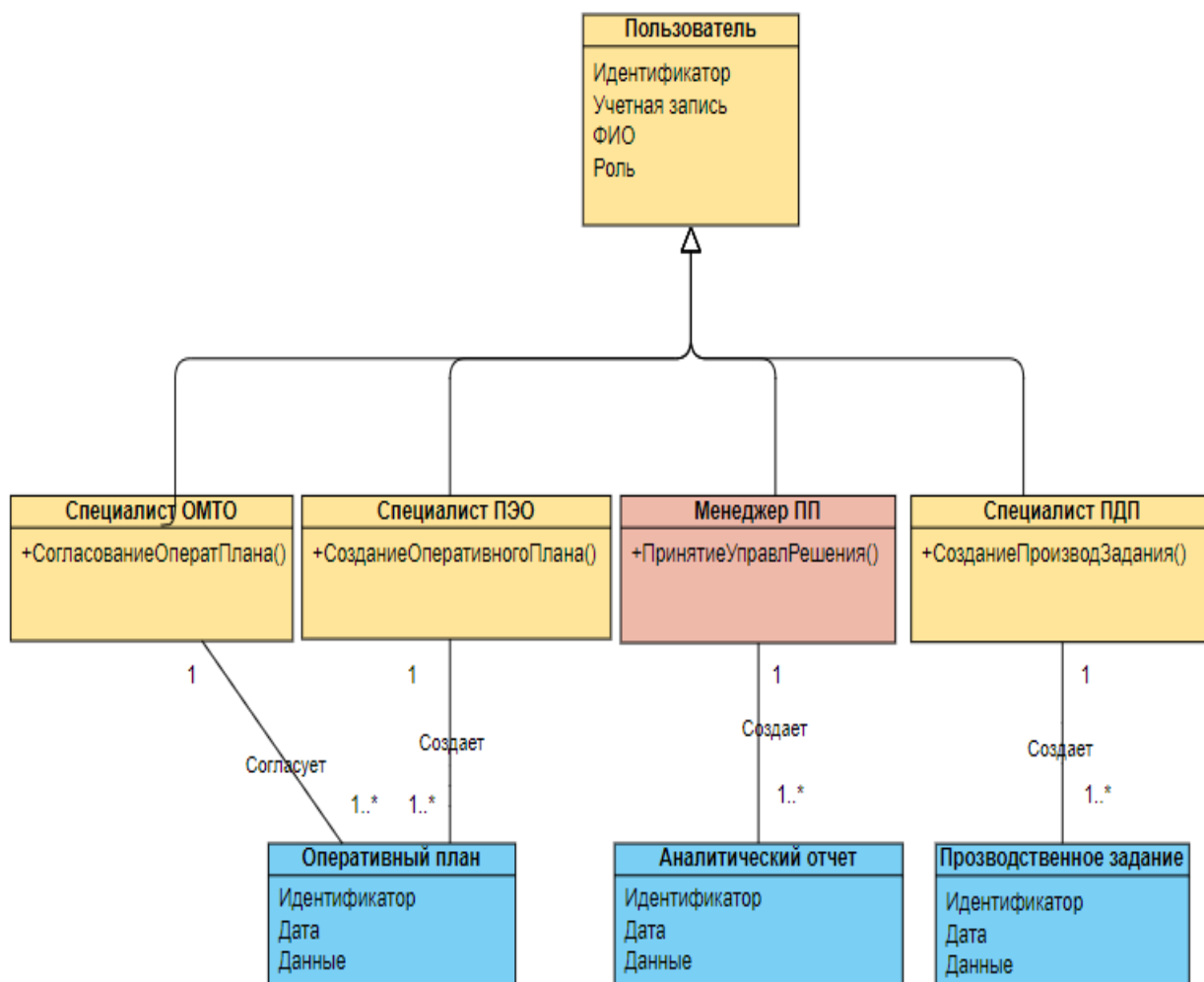


Рисунок 13 – Диаграмма классов MES-системы

«В методологии RUP в процесс разработки диаграммы классов создается спецификация классов.

Спецификация классов - это документальное описание классов ИС, выполненное в форме таблицы» [20].

Спецификация классов MES-системы представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Спецификация классов MES-системы

«Класс	Описание
Пользователь	Класс объектов «Пользователи» MES-системы
Специалист ОМТО	Класс объектов-специалистов ОМТО. Является наследником класса Пользователь
Специалист ПЭО	Класс объектов-специалистов ПЭО. Является наследником класса Пользователь
Специалист ПДП	Класс объектов-специалист ПДП. Является наследником класса Пользователь
Менеджер ПП	Класс объектов-менеджеров ПП. Является наследником класса Пользователь
Оперативный план	Класс объектов-оперативных планов (документы)
Производственное задание	Класс объектов-производственных заданий (документы)
Аналитический отчет	Класс объектов-аналитических отчетов» [8]

Процесс разработки программного обеспечения включает в себя ряд действий, направленных на разработку высококачественного программного обеспечения.

Проектирование архитектуры программного обеспечения является ключевой деятельностью процессов разработки программного обеспечения, поскольку оно позволяет определять и визуализировать продукты с различных и структурированных точек зрения.

Одним из наиболее часто используемых архитектурных представлений является логическое представление, которое представляет классы и их отношения.

По этой причине диаграмма классов UML является одной из наиболее часто используемых диаграмм UML разработчиками программного обеспечения.

Диаграммы последовательностей – это мощный визуальный инструмент, используемый в бизнес-анализе для представления взаимодействий между различными компонентами или субъектами в системе.

Они предоставляют пошаговое описание того, как эти сущности взаимодействуют и сотрудничают, помогая бизнес-аналитикам лучше понимать сложные процессы.

На рисунке 14 изображена диаграммы последовательности сценария принятия решения менеджером ПП.

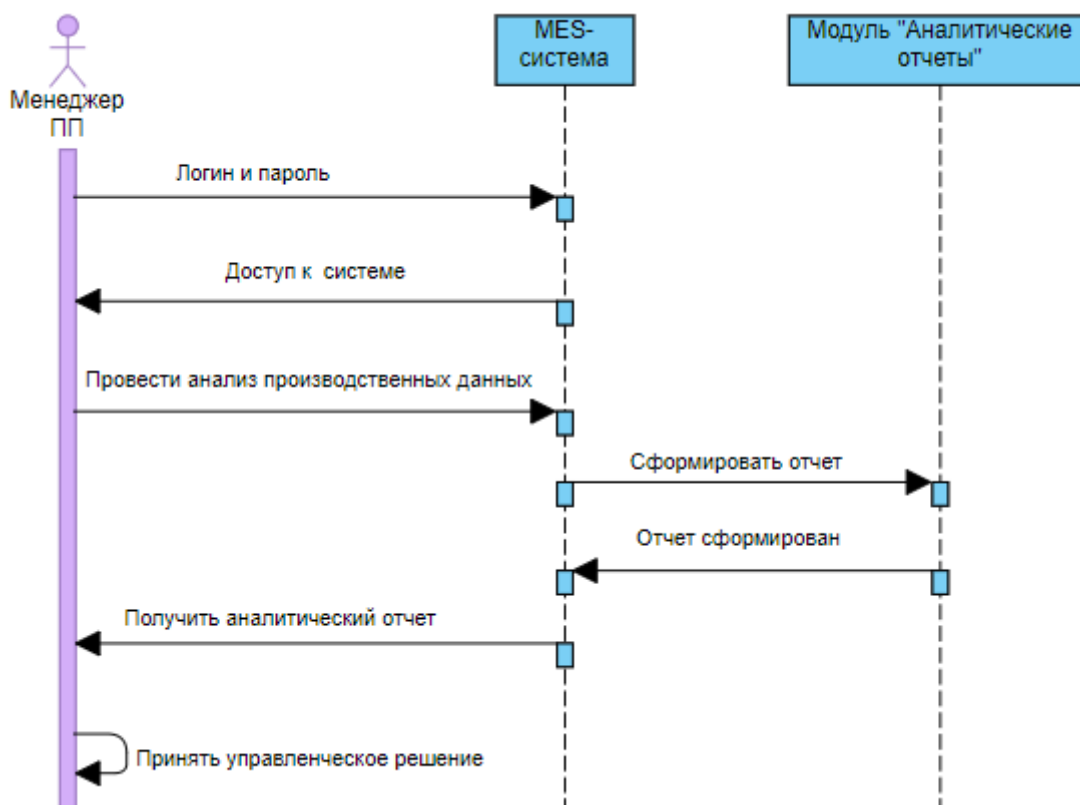


Рисунок 14 – Диаграмма последовательности сценария принятия решения менеджером ПП

Сценарий организован следующим образом:

- объект Менеджер ПП проходит авторизацию в MES-системе;
- объект MES-система предоставляет доступ объекту Менеджер ПП к своей базе данных (БД);
- объект Менеджер ПП обращается к объекту MES-система с сообщением провести анализ производственных данных;
- объект MES-система обращается к объекту Модуль «Аналитические

- отчеты» с сообщением формировать отчет;
- объекту Модуль «Аналитические отчеты» формирует отчет и сообщает об этом объекту Менеджер ПП;
- объект Менеджер ПП на основании данных отчета принимает управленческое решение.

Сценарий завершен.

По своей сути диаграммы последовательностей демонстрируют хронологический порядок, в котором действия происходят в системе. Каждый компонент или субъект представлен «линией жизни», а стрелки указывают сообщения, которыми они обмениваются [41].

Эти сообщения могут быть простыми вызовами методов, сигналами или асинхронными сообщениями.

3.2 Разработка модели хранилища данных MES-системы

Модели данных предлагают и уточняют, как данные будут представлять реальные сущности и события. Они также определяют значение и точность отдельных атрибутов и проясняют отношения между сущностями.

Реляционные модели данных также определяют основные ожидания относительно того, как наборы данных сочетаются друг с другом. Они имеют решающее значение для определения стандартов качества данных, правил и ожиданий.

Процесс моделирования часто выявляет различия между данными из разных частей организации.

Следовательно, моделирование требует подробного обсуждения с заинтересованными сторонами их ожиданий в отношении данных. Разрешение этих различий может сыграть важную роль в стандартизации данных в масштабах всей организации. Выбор способа моделирования напрямую влияет на воспринимаемое качество данных. Кроме того, процесс моделирования данных является важным источником информации о значении

данных и ожиданиях относительно использования данных.

Сами модели данных являются критически важным источником метаданных [21].

В качестве инструмента для моделирования данных используем программу MySQL Workbench. «Главным преимуществом данной программы является ориентация на СУБД MySQL, которая широко применяется при разработке веб-приложений на различных платформах. Кроме того, это позволяет реализовать в рамках одной модели логическую и физическую модель веб-приложения» [33].

Для разработки модели хранилища данных MES-системы используем технологию ROLAP.

Вот некоторые основные преимущества использования ROLAP в MES:

- динамический анализ данных: ROLAP позволяет пользователям выполнять специальные запросы и динамический анализ больших объемов данных. «Эта гибкость позволяет производителям исследовать данные в режиме реального времени, что облегчает быстрое принятие решений и реагирование на изменяющиеся условия производства» [16];
- масштабируемость: системы ROLAP могут эффективно обрабатывать большие наборы данных, что делает их подходящими для сред MES, где объемы данных могут значительно расти. Поскольку производственные процессы генерируют больше данных, ROLAP может масштабироваться для удовлетворения этого роста без ущерба для производительности;
- интеграция с реляционными базами данных: поскольку ROLAP основан на реляционных базах данных, он может легко интегрироваться с существующими базами данных MES. Такая совместимость упрощает процесс управления данными и позволяет организациям использовать свою текущую инфраструктуру без необходимости внесения существенных изменений;

- поддержка сложных запросов: ROLAP поддерживает сложные запросы, включающие несколько измерений и агрегаций. Эта возможность необходима для MES, где пользователям может потребоваться анализировать производственные данные по различным измерениям, таким как время, тип продукта, производительность машины и эффективность труда;
- доступ к данным в реальном времени: ROLAP может предоставлять доступ к операционным данным в реальном времени, позволяя производителям отслеживать производственные процессы по мере их возникновения. Эта оперативность помогает оперативно выявлять проблемы и принимать обоснованные решения для оптимизации производства;
- многомерный анализ: ROLAP обеспечивает многомерный анализ, позволяя пользователям просматривать данные с разных точек зрения. Например, производители могут анализировать производственные показатели по сменам, машинам или линейкам продуктов, что позволяет глубже понять эффективность работы;
- согласованность и целостность данных: ROLAP использует надежность реляционных баз данных, обеспечивая согласованность и целостность данных. Эта надежность имеет решающее значение для MES, где точные данные необходимы для эффективного принятия решений и контроля качества;
- экономическая эффективность: решения ROLAP могут быть более экономически эффективными по сравнению с другими технологиями OLAP, такими как MOLAP (многомерный OLAP), особенно при работе с большими наборами данных. Организации могут использовать существующие системы реляционных баз данных, что снижает необходимость дополнительных инвестиций в инфраструктуру;
- расширенные возможности отчетности: ROLAP обеспечивает

расширенные возможности отчетности, позволяя пользователям создавать подробные отчеты о производственных показателях, контроле качества и эксплуатационных показателях. Эта возможность поддерживает инициативы по непрерывному улучшению в рамках производственного процесса;

- поддержка стандартных SQL-запросов: системы ROLAP используют стандартный SQL для запроса данных, что делает их доступными для более широкого круга пользователей, которые уже знакомы с SQL. Такая доступность может привести к более широкому принятию и взаимодействию пользователей с инструментами анализа данных [44].

Логическая модель хранилища данных, построенного по технологии ROLAP, представлена на рисунке 15.

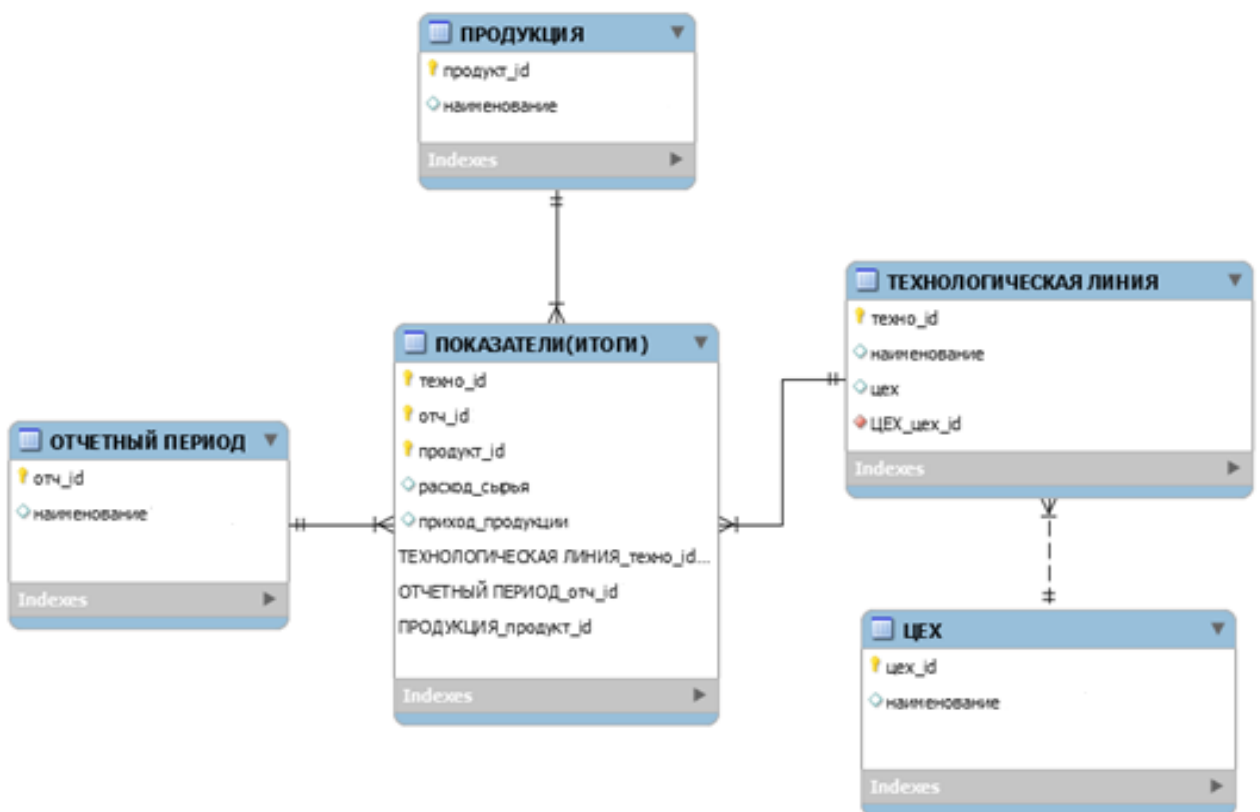


Рисунок 15 – Логическая модель хранилища данных MES-системы

«В процессе анализа предметной области были выделены следующие

сущности логической модели данных:

- Показатели (Итоги) – таблица фактов;
- Отчетный период, Продукция, Технологическая линия – таблицы измерений;
- Цех – консольная таблица» [16].

При построении хранилища данных MES использована схема «Снежинка».

Связи между таблицей фактов и таблицами измерений – идентифицирующие.

Связь между таблицами «Технологическая линия» и «Цех» – неидентифицирующая.

3.3 Выбор алгоритмов интеллектуального анализа производственных данных

Рассмотрим алгоритмы интеллектуального анализа, используемые для аналитической обработки производственной информации.

Для кластеризации данных используем алгоритм k-means (K-средних). [28].

Применение K-средних в MES:

- K-средние можно использовать для выявления закономерностей в производственных данных, таких как выявление схожих производственных циклов или категоризация процессов на основе эффективности. Кластеризуя схожие производственные сценарии, производители могут анализировать, что работает лучше всего, и воспроизводить успешные процессы;
- кластеризуя продукты на основе показателей качества (например, размеров, веса, уровня дефектов), производители могут определять группы продуктов, которые соответствуют стандартам качества, и те, которые не соответствуют. Это может помочь в выявлении

- конкретных проблем на производственной линии или с определенными материалами;
- К-средние могут помочь в обнаружении аномалий в производственных данных. Кластеризуя нормальные рабочие условия, любые точки данных, которые выходят за рамки этих кластеров, могут указывать на потенциальные проблемы, такие как неисправности оборудования или отклонения от стандартных рабочих процедур;
 - кластеризация может помочь в оптимизации распределения ресурсов путем определения групп машин или рабочих станций, которые работают аналогично. Эта информация может помочь в балансировке рабочих нагрузок и повышении общей эффективности планирования производства;
 - в случаях, когда системы MES отслеживают заказы клиентов, К-средние могут использоваться для сегментации клиентов на основе покупательского поведения, частоты заказов или предпочтений в отношении продуктов. Эта сегментация может использоваться для планирования производства и управления запасами;
 - кластеризуя оборудование на основе моделей использования и показателей производительности, производители могут определить, какие машины требуют более частого обслуживания, и соответствующим образом запланировать профилактическое обслуживание, сокращая время простоя и повышая надежность;
 - К-средние могут применяться для анализа производительности поставщиков путем кластеризации поставщиков на основе сроков поставки, качества материалов и затрат. Этот анализ может помочь производителям принимать обоснованные решения о выборе и управлении поставщиками.

Преимущества использования К-средних в MES:

- простота и эффективность: К-средние относительно просты в

реализации и эффективны с вычислительной точки зрения, что делает их пригодными для больших наборов данных, обычно встречающихся в средах MES;

- масштабируемость: алгоритм может обрабатывать большие объемы данных, что делает его применимым к обширным наборам данных, генерируемым в производственных процессах;
- интерпретируемость: результаты кластеризации K-средних легко интерпретировать, что позволяет заинтересованным сторонам понимать группировки и закономерности в данных;
- гибкость: K-средние можно применять к различным типам данных, включая числовые и категориальные данные (с некоторой предварительной обработкой), что делает его универсальным для различных приложений MES.

Блок-схема алгоритма k-means изображена на рисунке 16.

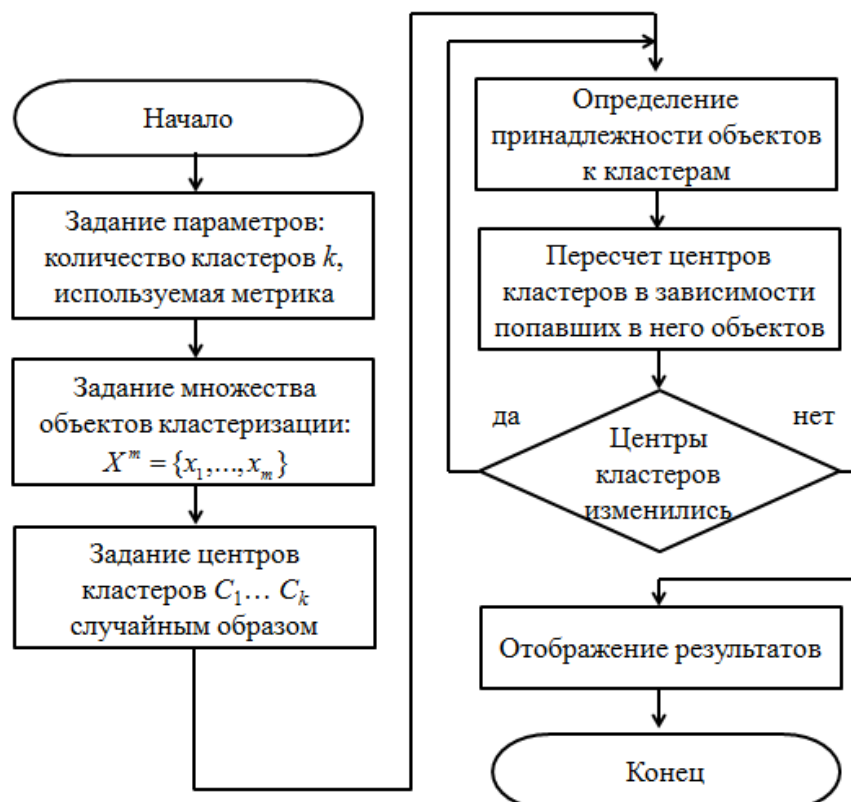


Рисунок 16 – Блок-схема алгоритма k-means

Кластеризация К-средних является ценным инструментом для расширения возможностей систем управления производством. Используя К-средние, производители могут получить представление о производственных процессах, улучшить контроль качества, оптимизировать распределение ресурсов и повысить общую эффективность работы. Несмотря на свои ограничения, при тщательном внедрении и учете характеристик данных, К-средние могут внести значительный вклад в принятие решений на основе данных в производственных средах.

Основными преимуществами алгоритма k-means является простота реализации и небольшие вычислительные затраты.

Для «классификации данных используем алгоритм дерева решений CART. Деревья классификации и регрессии (CART) — это метод обучения на основе дерева решений, используемый для прогнозного моделирования и анализа данных. В контексте систем управления производством (MES) CART можно применять для улучшения процесса принятия решений» [22], оптимизации процессов и повышения эффективности работы. Вот как можно эффективно использовать CART в рамках MES:

- CART можно использовать для прогнозирования отказов оборудования путем анализа исторических данных о производительности машины, записей о техническом обслуживании и условий эксплуатации. Выявляя закономерности, связанные со сбоями, производители могут планировать техническое обслуживание заранее, сокращая время простоя и затраты;
- анализируя данные о производстве, CART может помочь классифицировать продукцию на основе результатов качества (например, прошел/не прошел). Это позволяет производителям определять факторы, способствующие возникновению дефектов, и улучшать процессы контроля качества;
- «CART может помочь в прогнозировании результатов производства

на основе различных входных данных, таких как настройки машины, качество сырья и условия окружающей среды. Это может помочь в оптимизации графиков производства и распределения ресурсов;

- CART можно использовать для выявления необычных закономерностей в производственных данных, которые могут указывать на такие проблемы, как неисправности оборудования или отклонения от стандартных рабочих процедур» [22]. Это может помочь в раннем обнаружении и решении потенциальных проблем;
- CART может анализировать работу поставщиков и классифицировать поставщиков на основе таких критериев, как надежность поставок, качество материалов и стоимость. Эта информация может помочь в выборе и управлении поставщиками;
- анализируя данные о заказах клиентов, CART может помочь сегментировать клиентов на основе покупательского поведения, предпочтений и моделей заказов. Эта сегментация может помочь в планировании производства и управлении запасами;
- CART можно использовать для анализа данных о трудовых ресурсах, таких как производительность сотрудников, посещаемость и уровень навыков, для выявления факторов, которые способствуют производительности. Эта информация может поддерживать инициативы по планированию и обучению рабочей силы.

Преимущества использования CART в MES:

- интерпретируемость: одним из основных преимуществ CART является то, что полученные деревья решений легко интерпретировать и визуализировать. Заинтересованные стороны могут понять процесс принятия решений и факторы, влияющие на результаты;
- обработка нелинейных отношений: CART может эффективно моделировать нелинейные отношения между входными переменными и результатами, что делает его пригодным для сложных

производственных сред;

- важность характеристик: CART дает представление о важности различных характеристик (переменных) при составлении прогнозов, помогая производителям сосредоточиться на критических факторах, которые влияют на производительность;
- никаких предположений о распределении данных: CART не предполагает определенного распределения данных, что делает его универсальным для различных типов данных, встречающихся в MES.

На приведенной ниже схеме показана общая структура дерева решений (рисунок 17):

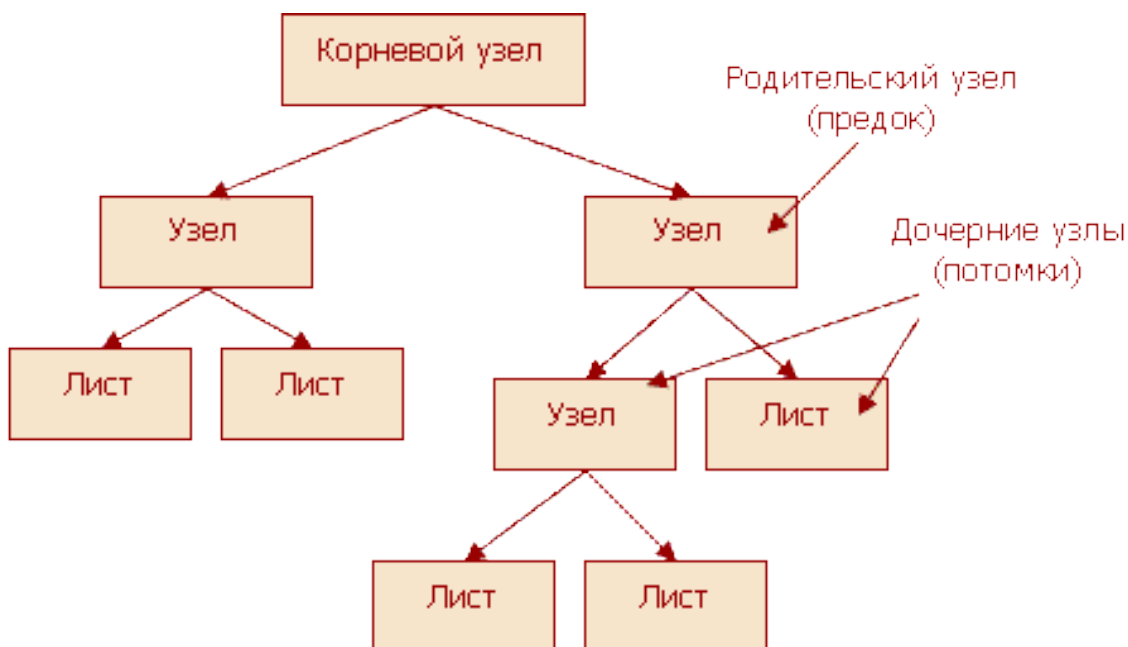


Рисунок 17 – Графическое представление алгоритма «Дерево решений»

CART — это мощный инструмент для расширения возможностей систем управления производством. Используя CART, производители могут получить представление о предиктивном обслуживании, контроле качества, планировании производства и многом другом. Несмотря на свои ограничения, при тщательном внедрении и проверке CART может внести значительный вклад в принятие решений на основе данных и эффективность работы в

производственных средах.

Выводы по главе 3

В главе 3 магистерской диссертации представлены модели и алгоритмы аналитической обработки производственной информации.

Результаты проделанной работы позволили сделать следующие выводы:

- для построения модели хранилища данных MES-системы использована технология ROLAP, схема «Снежинка»;
- кластеризация К-средних является ценным инструментом для расширения возможностей систем управления производством. Используя К-средние, производители могут получить представление о производственных процессах, улучшить контроль качества, оптимизировать распределение ресурсов и повысить общую эффективность работы. Несмотря на свои ограничения, при тщательном внедрении и учете характеристик данных, К-средние могут внести значительный вклад в принятие решений на основе данных в производственных средах.

Используя CART, производители могут получить представление о предиктивном обслуживании, контроле качества, планировании производства и многом другом. Несмотря на свои ограничения, при тщательном внедрении и проверке CART может внести значительный вклад в принятие решений на основе данных и эффективность работы в производственных средах.

Глава 4 Апробация проектных решений и оценка их эффективности

4.1 Апробация проектных решений

Для апробации проектных решений разработан прототип MES-системы.

Как было отмечено выше, в качестве платформы для разработки MES-системы принято решение использовать тиражируемый ПП 1С: MES.

«При использовании тиражируемых ИТ-решений применяется метод типового проектирования.

Типовое проектирование информационной системы предполагает создание системы из готовых типовых элементов. Основопологающим требованием для применения методов типового проектирования является возможность декомпозиции информационной системы на множество составляющих компонентов (подсистем, комплексов задач, программных модулей и т.д.).

Для реализации выделенных компонентов выбираются имеющиеся на рынке типовые проектные решения, которые настраиваются на особенности конкретного предприятия» [17].

Для построения архитектуры системы используются иерархические диаграммы UML.

Существует два типа иерархических диаграмм: диаграмма компонентов и диаграмма развертывания.

Диаграммы иерархии архитектуры отображают уникальные типы архитектуры компонентов и их отношения с использованием соединений композиции. В представлении иерархии архитектуры каждая ссылочная модель представлена только один раз. Любое представление диаграммы компонентов может быть опционально представлено как иерархическая диаграмма.

На рисунке 18 в виде диаграммы компонентов изображена программная архитектура MES-системы.

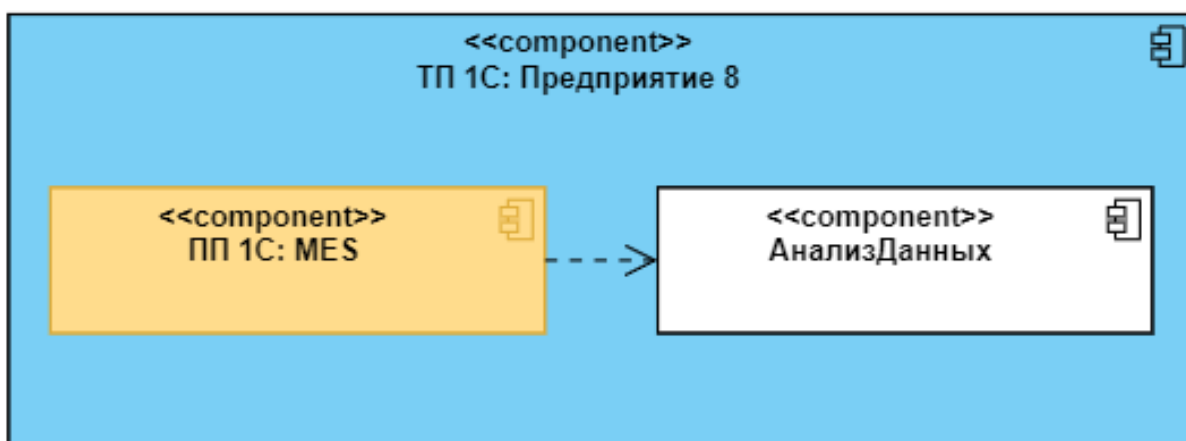


Рисунок 18 – Программная архитектура MES-системы

Диаграмма развертывания UML изображает статическое представление конфигурации аппаратных узлов и программных компонентов, работающих на этих узлах, во время выполнения.

Диаграммы развертывания UML показывают аппаратное обеспечение системы, программное обеспечение, установленное на этом оборудовании, и промежуточное программное обеспечение, используемое для соединения разрозненных компьютеров друг с другом.

Диаграммы развертывания создаются для решения следующих задач:

- изучение вопросов, связанных с внедрением ИС в производство;
- изучение зависимости ИС от других систем, которые в настоящее время находятся или планируются в производственной среде;
- изображения основной конфигурации развертывания бизнес-приложения;
- проектирования аппаратной и программной конфигураций внедряемой ИС;
- отображения физической топологию аппаратной/сетевой инфраструктуры организации.

На рисунке 19 изображена диаграмма развертывания MES-системы.

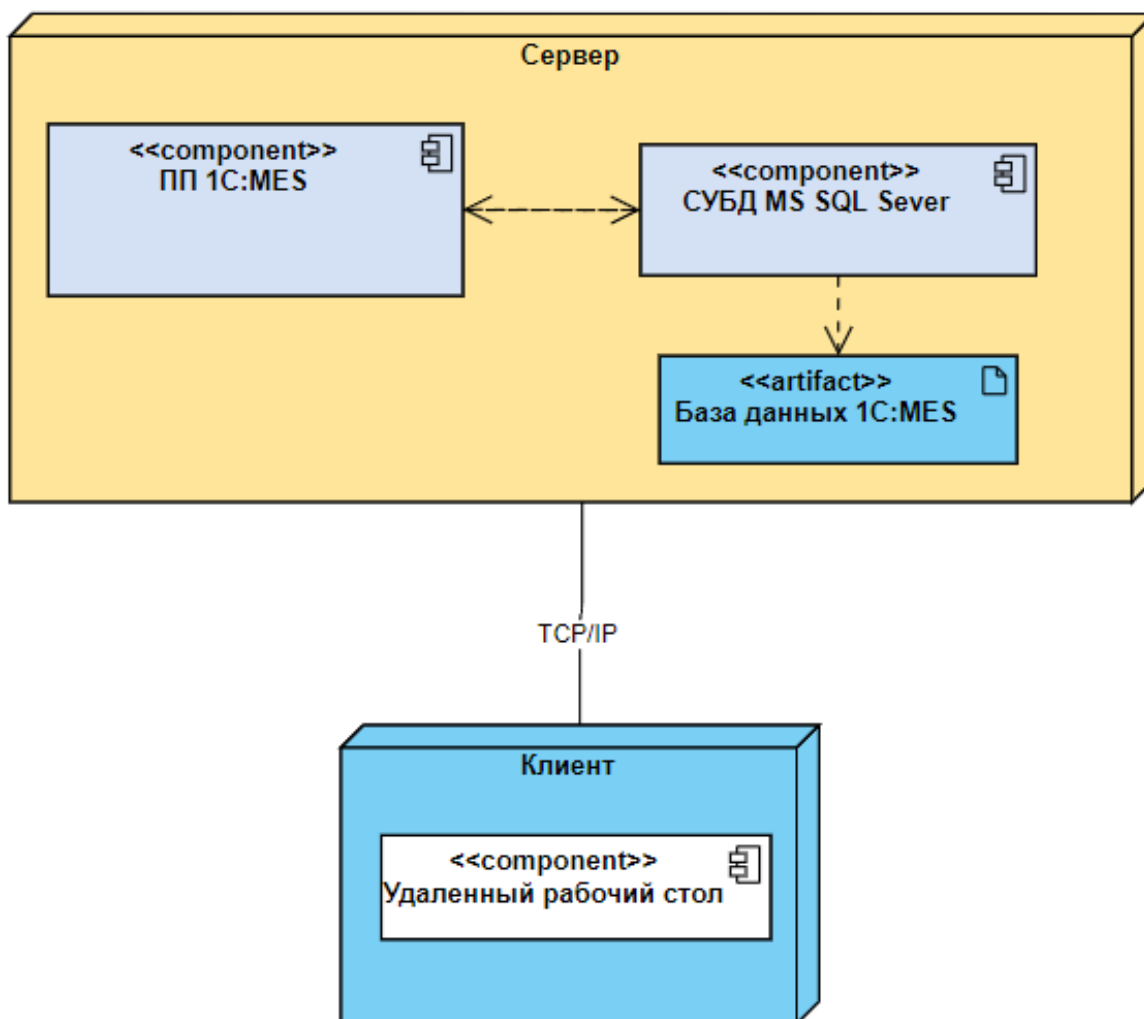


Рисунок 19 – Диаграмма развертывания MES-системы

В качестве сервера баз данных используется СУБД MS SQL Server.

Для доступа к ПП на компьютере клиента создается «Удаленный рабочий стол».

Результаты аналитической обработки производственной информации выводятся на промышленный терминал (рисунок 20).

На терминале можно просмотреть приложенную документацию для технологической операции (эскизы, инструкции по охране труда и др.), сформировать **аналитические отчеты** и вызвать необходимых сотрудников

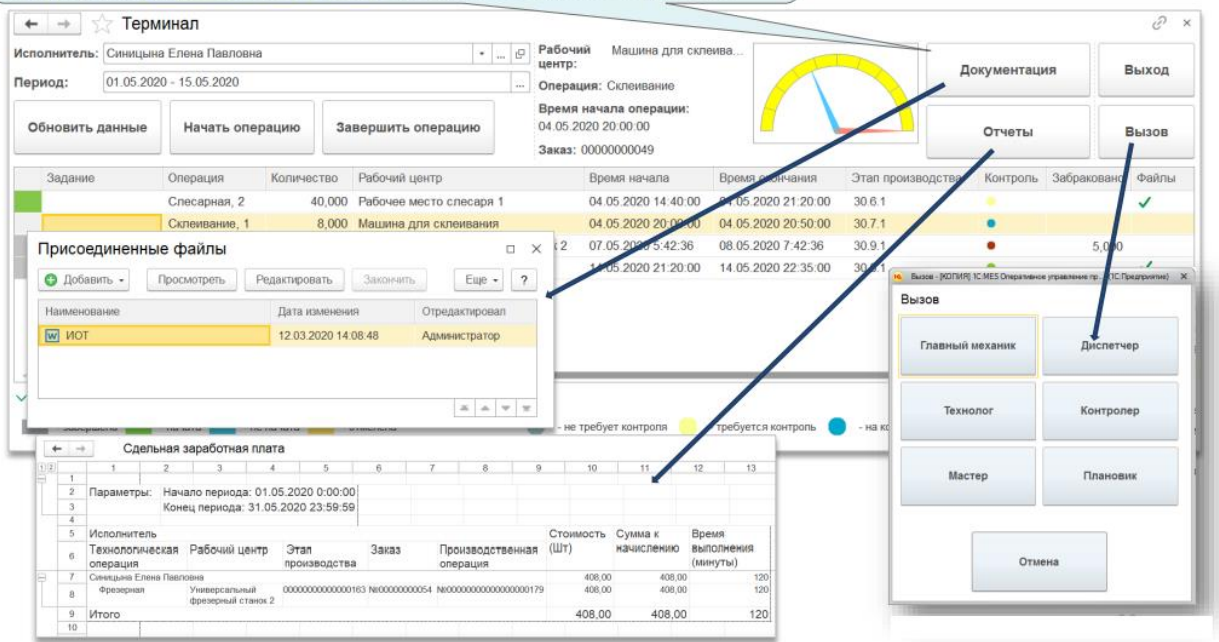


Рисунок 20 – Окно терминала MES-системы

Для формирования базовой аналитической отчетности используется встроенный модуль «Внешние отчеты».

Для управления производственными операциями используются нижеследующие отчеты.

Отчет производства за смену (рисунок 21).

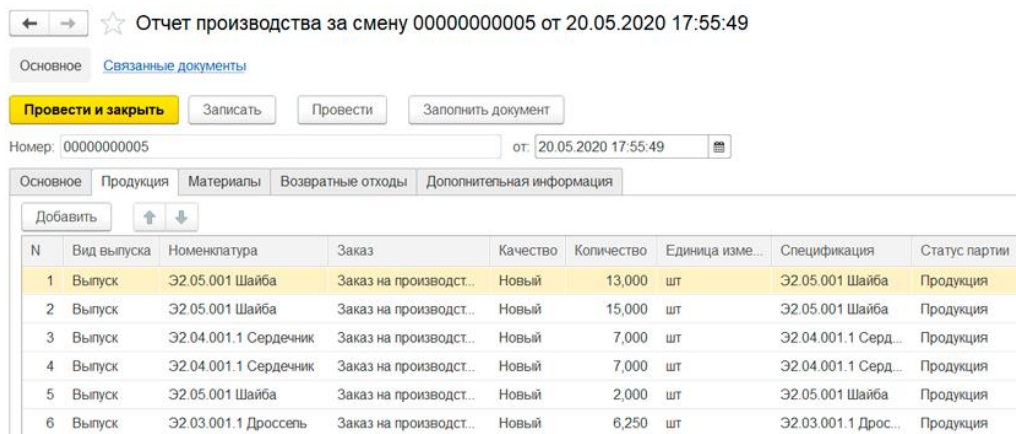


Рисунок 21 – Отчет производства за смену

Отчет «Планирование расписания производства» (рисунок 22).

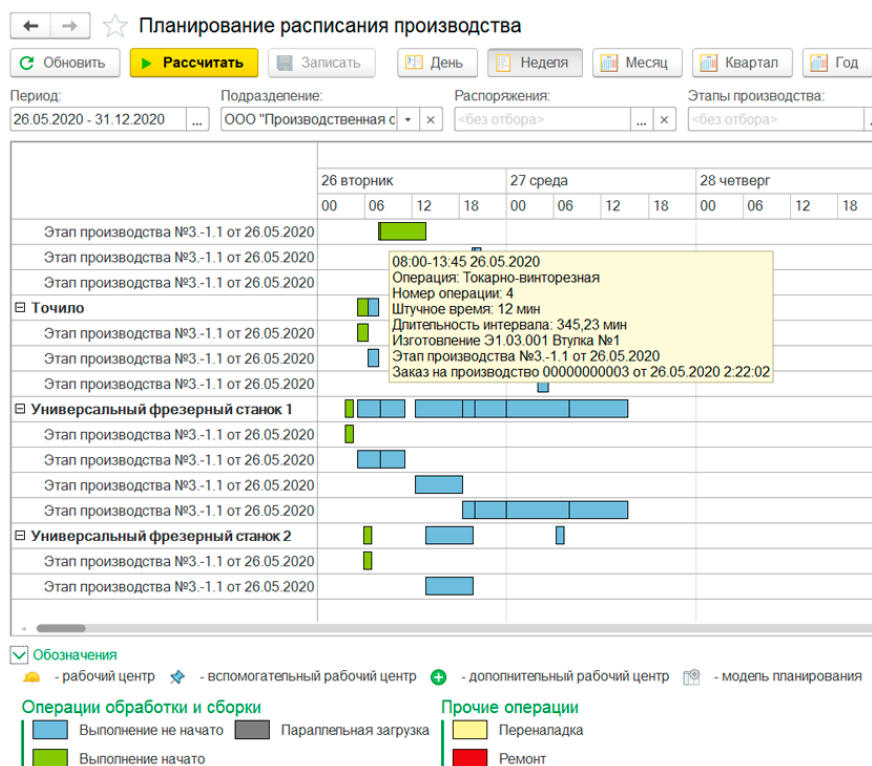


Рисунок 22 – Отчет «Планирование расписания производства»

Отчет «Движение номенклатуры на складах» (рисунок 23).

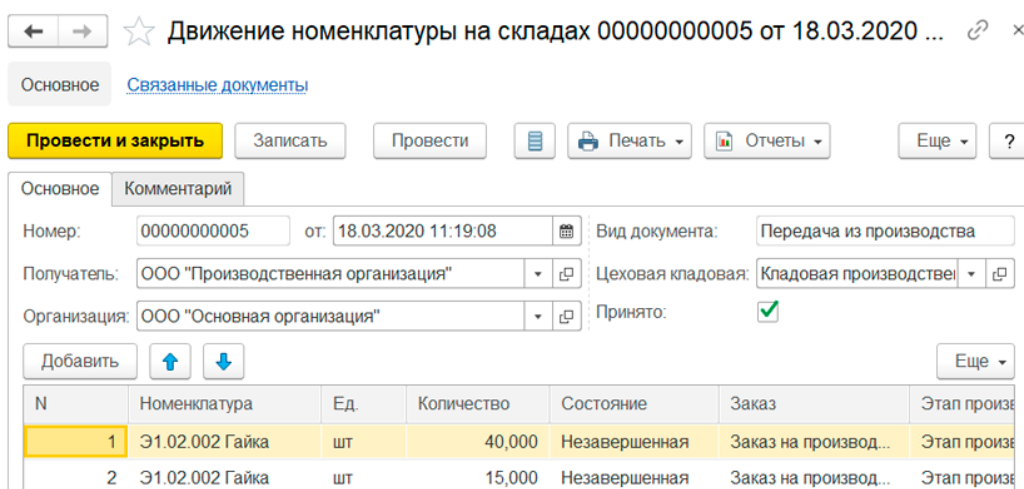


Рисунок 23 – Отчет «Движение номенклатуры на складах»

Расчет графика производства (рисунок 24).

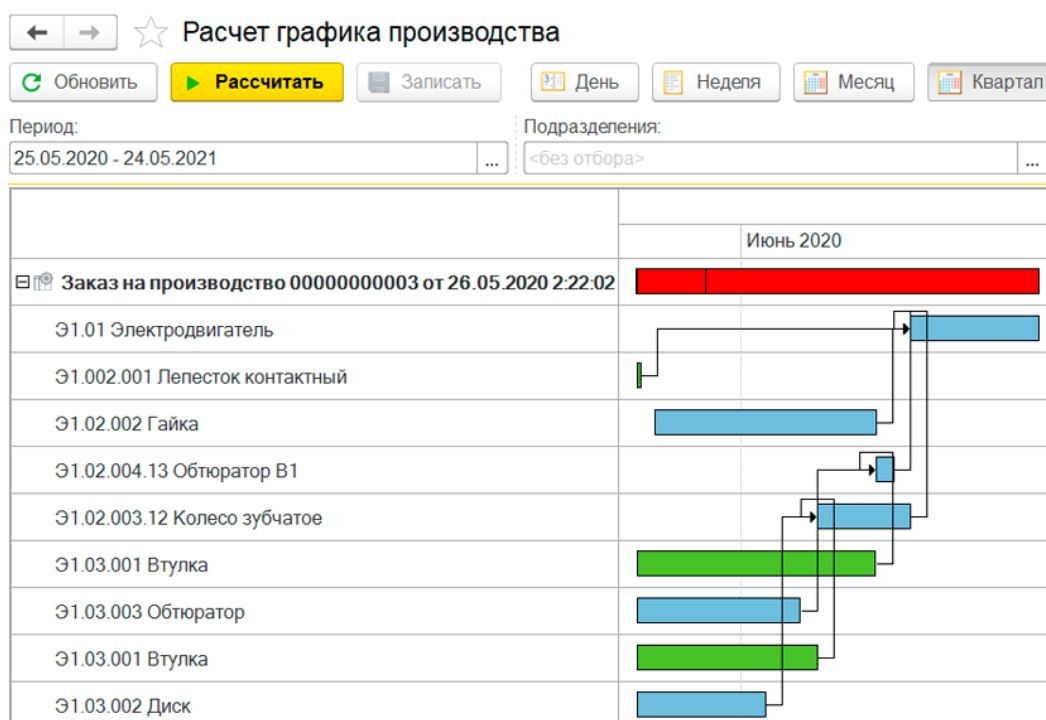


Рисунок 24 – Расчет графика производства

«Для реализации предлагаемых моделей и алгоритмов интеллектуального анализа данных используется механизм анализа данных технологической платформы 1С: Предприятие 8.3» [2].

Структурная схема механизма анализа данных показана на рисунке 25.



Рисунок 25 – Структурная схема механизма анализа данных 1С8

Вместе с тем используемый в 1С механизм недостаточно гибок.

В этой связи представляется целесообразным интегрировать в ПП 1С: MES аналитический модуль, разработанный в среде Jupyter Notebook с помощью языка Python и библиотеки машинного обучения scikit-learn [1], [36], [37].

На рисунке 26 показаны код и результат подготовки данных и вывода характеристик датафрейма.

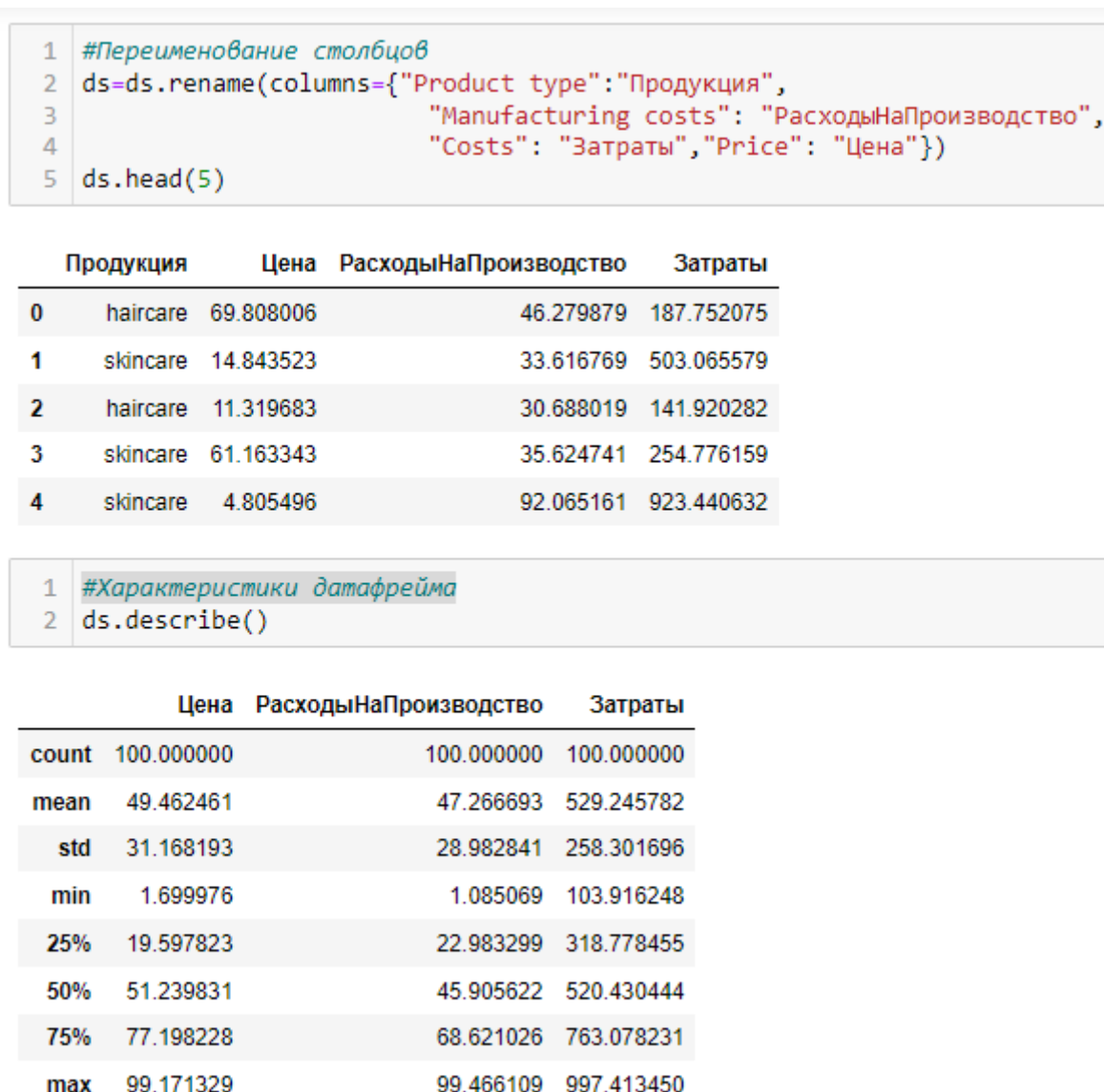


Рисунок 26 – Код и результат подготовки данных для анализа

На рисунке 27 показана диаграмма «Ящик с усами» для параметра «Расходы на производство».

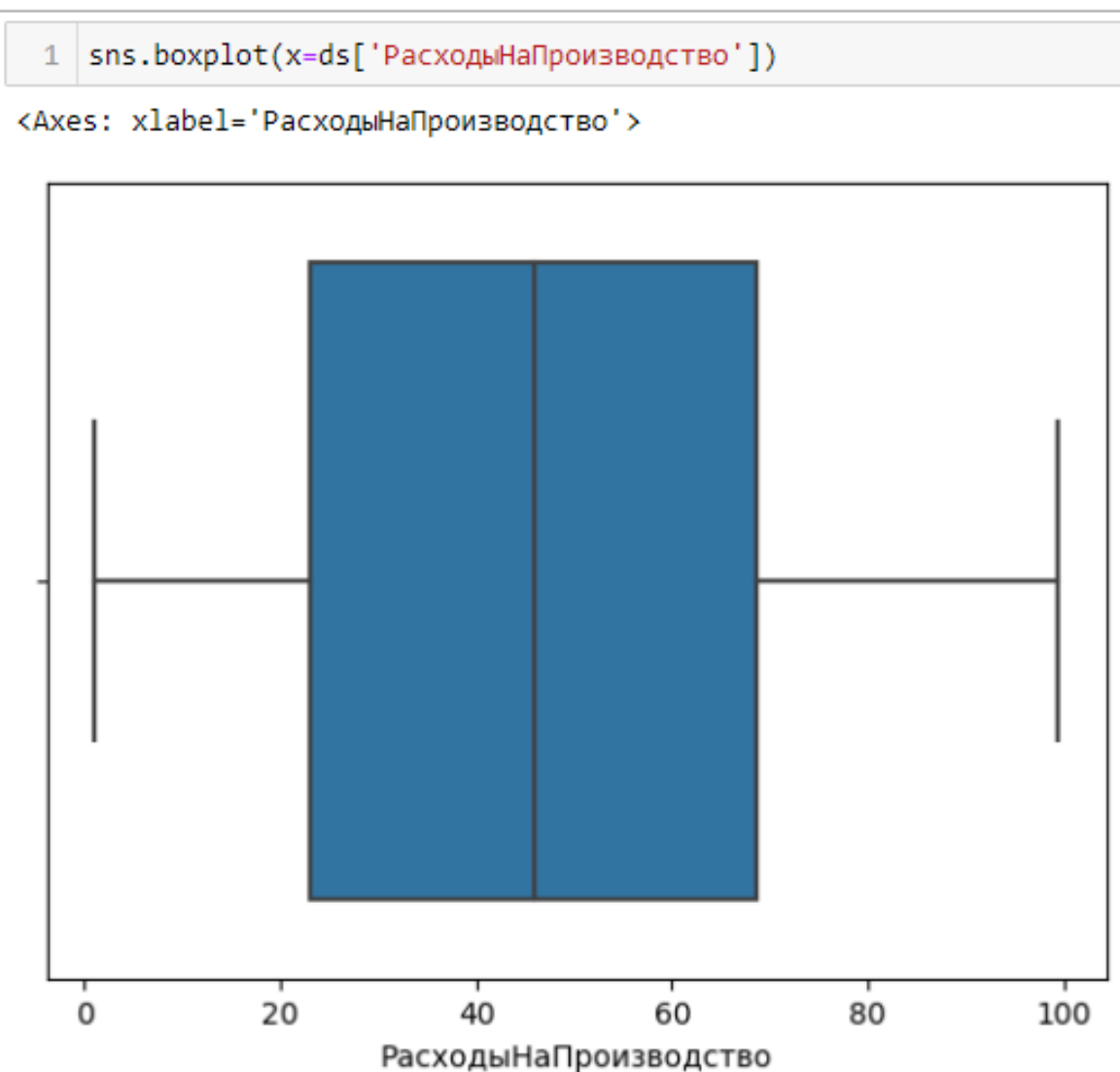


Рисунок 27 – Диаграмма «Ящик с усами» для параметра «Расходы на производство»

На рисунке 28 показана тепловая карта используемого набора данных.

	Продукция	Цена	РасходыНаПроизводство	Затраты
Продукция	1.000000	0.118260	-0.077401	-0.070671
Цена	0.118260	1.000000	-0.184123	0.088501
РасходыНаПроизводство	-0.077401	-0.184123	1.000000	-0.013911
Затраты	-0.070671	0.088501	-0.013911	1.000000

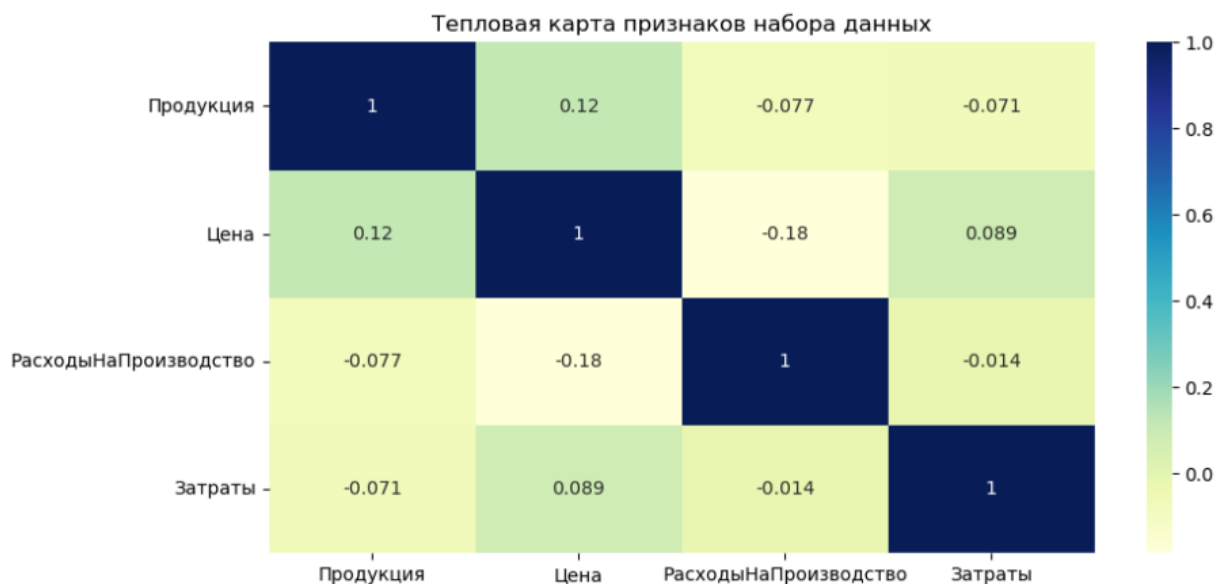


Рисунок 28 – Тепловая карта используемого набора данных

На рисунках 29 и 30 показаны код и график результатов кластеризации данных по методу k-means, соответственно.

```

1 from sklearn.cluster import KMeans
2 import pandas as pd
3 import numpy as np
4 import pickle
5 import pathlib
6 kmeans = KMeans(3)
7 kmeans.fit(ds.values)
8 print(kmeans.labels_)
9 print(kmeans.cluster_centers_)
10 import matplotlib.pyplot as plt
11 from matplotlib.colors import ListedColormap
12 %matplotlib inline
13 customcmap = ListedColormap(["crimson", "mediumblue", "darkmagenta"])
14 fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 8))
15 plt.scatter(x=ds['Продукция'], y=ds['РасходыНаПроизводство'], s=200,
16           c=kmeans.labels_,
17           cmap=customcmap)
18 ax.set_xlabel(r'Продукция', fontsize=14)
19 ax.set_ylabel(r'РасходыНаПроизводство', fontsize=14)
20 plt.xticks(fontsize=12)
21 plt.yticks(fontsize=12)
22 plt.show()

```

Рисунок 29 – Код модуля кластеризации данных

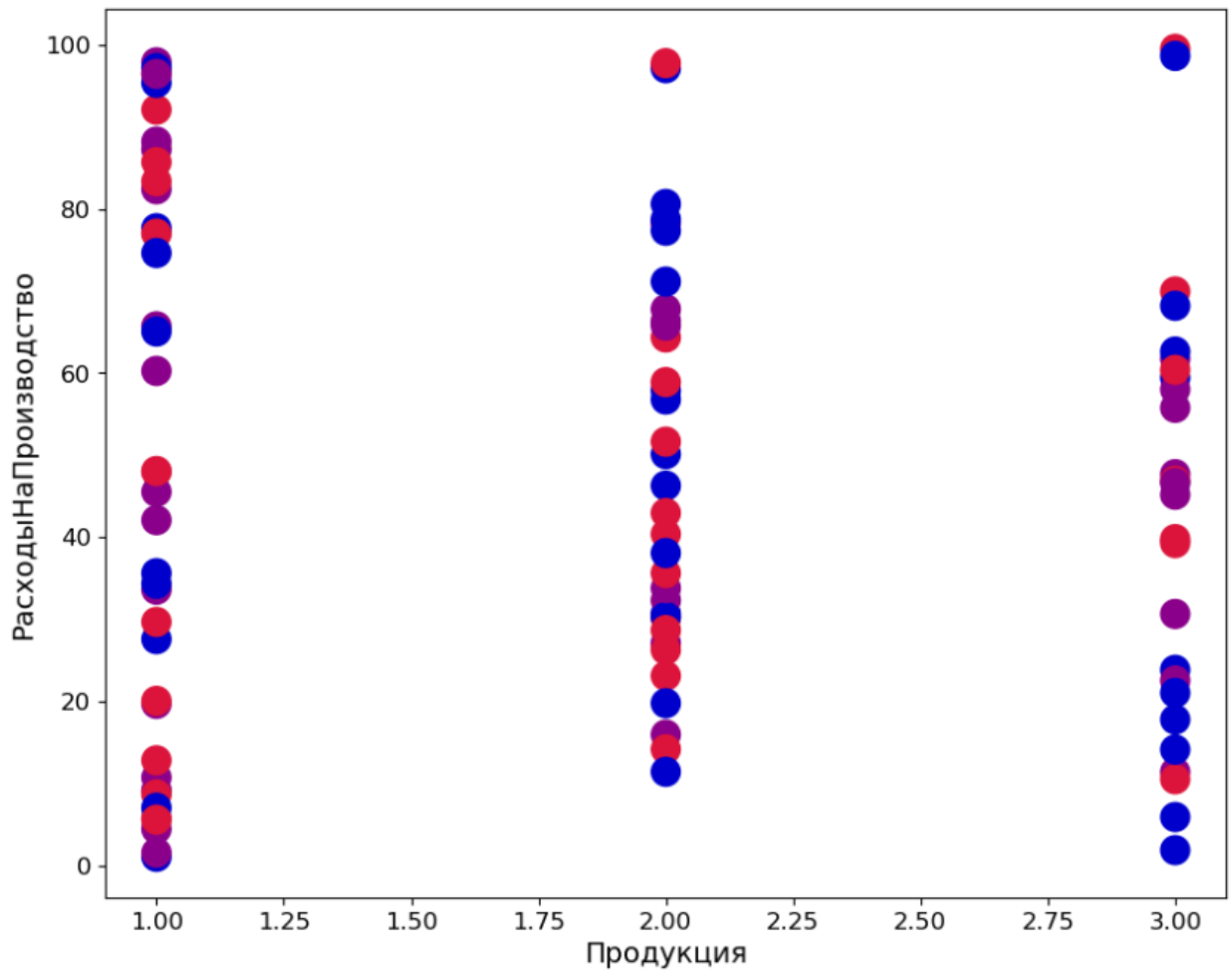


Рисунок 30 – График результатов кластеризации производственных данных

Как следует из графика, были выделены три кластера параметра «Расходы на производство» по номенклатурным позициям выпускаемой продукции.

На рисунках 31 и 32 показаны код классификатора и дерево решений.

```

1 #выполним классификацию
2 from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier
3 classifier = DecisionTreeClassifier()
4 classifier.fit(X_train, y_train)

1 #построим дерево решений
2 from sklearn import tree
3 tree.plot_tree(classifier)

```

Рисунок 31 – Код классификатора



Рисунок 32 – Дерево решений

Для апробации модуля анализа данных MES использован свободно распространяемый в Интернете CSV-файл датасета производственных данных.

На практике такой датасет можно получить путем экспорта внешнего отчета 1С в формат XLS и последующего его преобразования в CSV.

Таким образом, апробация подтвердила работоспособность используемых моделей и алгоритмов аналитической обработки производственной информации.

4.2 Оценка эффективности проектного решения

«Для оценки эффективности проектного решения используем методы оценки экономической эффективности проекта разработки MES-системы и ее функциональной эффективности управления.

Для оценки экономической эффективности проекта разработки MES-системы используем методику сравнения затрат на заказную (базовый вариант) и самостоятельную разработку (проектный вариант) MES-системы» [4].

«В калькуляцию себестоимости заказной разработки MES-системы включаются следующие статьи затрат:

- зарплата исполнителя проекта по трудовому договору (ЗБ₁);
- социальные страховые взносы (ЗБ₂);
- прочие прямые расходы (ЗБ₃);
- накладные расходы (ЗБ₄).

В заказной разработке MES-системы задействован внешний программист.

Средняя стоимость часа работы программиста 1С по договору составляет 1125 руб.

Ориентировочное время разработки составляет 100 час.

Итого затраты базового варианта С_{баз} составят:

$S_{\text{баз}} = ЗБ_1 + ЗБ_2 + ЗБ_3 + ЗБ_4 = 1125 \cdot 100 + 0,271 \cdot 1125 \cdot 100 + 0 + 0 = 143000$ руб.

В самостоятельной разработке ИС задействованы программист и системный аналитик компании» [9].

«В калькуляцию себестоимости собственной разработки ИС включаются следующие статьи затрат:

- зарплата исполнителей проекта с учетом затраченного времени 100 час (ЗП₁);
- социальные страховые взносы (ЗП₂);

- прочие прямые расходы (ЗП₃);
- накладные расходы (ЗП₄)» [4].

Итого затраты проектного варианта С_{пр} составят:

$$C_{\text{пр}} = ЗП_1 + ЗП_2 + ЗП_3 + ЗП_4 = (35000+20000+10000) \text{ руб} + 0,3 \cdot (35000+30000) + 0 + 0 = 84500 \text{ руб}$$

Сформируем таблицу и график показателей экономической эффективности (таблица 9, рисунок 33).

Таблица 9 – Показатели эффективности проекта разработки MES-системы

«Затраты		Абсолютное изменение затрат	Коэффициент относительного снижения затрат	Индекс снижения затрат
Базовый вариант	Проектный вариант			
С _{баз} (руб.)	С _{пр} (руб.)	$\Delta C = C_{\text{баз}} - C_{\text{пр}}$ (руб.)	$K_C = \Delta C / C_{\text{баз}} \times 100\%$	$Y_C = C_{\text{баз}} / C_{\text{пр}}$
143000	84500	58500	41	1,7» [4]

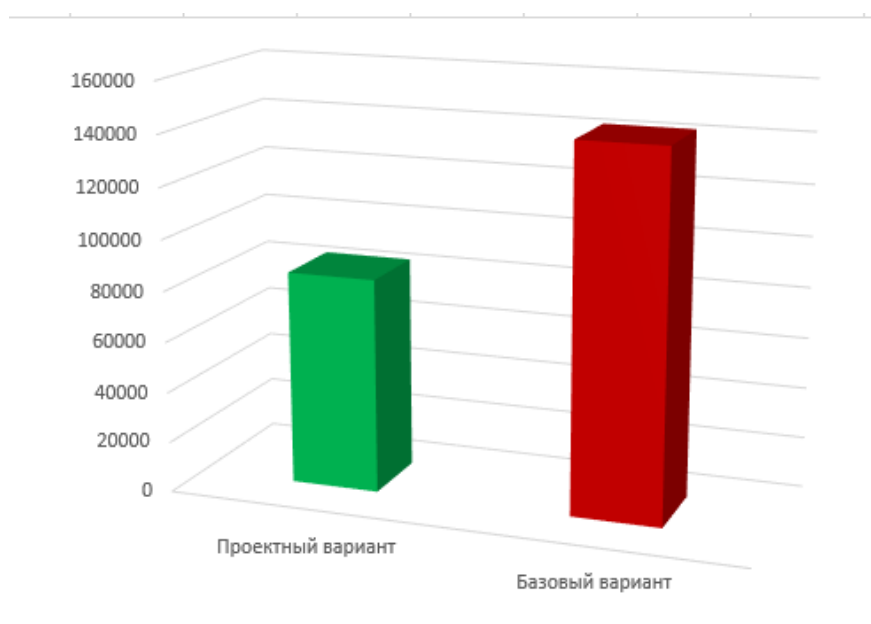


Рисунок 33 – Диаграмма сравнения затрат на разработку MES-системы

«Таким образом, затраты при проектном варианте разработки MES-системы сократились в 1,7 раза.

Срок окупаемости затрат на внедрение проектного решения ($T_{ок}$) определяется по формуле (1):

$$T_{ок} = K_{П} / \Delta C \text{ (мес.)}, \quad (1)$$

где $K_{П}$ – затраты на реализацию проектных решений (проектирование и внедрение MES-системы).

Следовательно, срок окупаемости адаптированного сайта равен:

$$T_{ок} = 84500/58500 \approx 1,5 \text{ мес.}$$

Представленные расчеты подтвердили существенное снижение затрат на проектирование и эффективность проектного решения» [9].

«Под функциональной эффективностью управления понимается степень реализации органом управления возлагаемых на него функций.

Величина показателя функциональной эффективности управления $K_{эу}$ может вычисляться с помощью следующей формулы (2):

$$K_{эу} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{yi}}{n}, \quad (2)$$

где n - количество функций управления, реализуемых ИС;

P_{yi} - вероятность выработки ИС эффективного управляющего воздействия при реализации i -й функции управления» [4].

Для ИС с высокой эффективностью управления величина данного показателя должна превышать значение 0,5.

Оценим эффективность MES-системы на основе показателя

функциональной эффективности управления.

В рассматриваемом случае MES-система поддерживает следующие управленческие функции:

– «формирование встроенных аналитических отчетов. Данная функция является базовой функцией сертифицированного ПП «1С: MES Оперативное управление производством». Поэтому вероятность выработки эффективного управляющего воздействия для данной функции равна 1;

– интеллектуальный анализ производственных данных. Эта новая функция, поэтому принимаем вероятность выработки эффективного управляющего воздействия для данной функции равной 0,5» [4].

Тогда значение показателя функциональной эффективности управления будет равно:

$$K_{\text{эу}} = 1,5/2 = 0,75$$

Таким образом, показатель функциональной эффективности управления MES-системы $K_{\text{эу}} > 0.5$, что свидетельствует о ее высокой функциональной эффективности управления.

Выводы по главе 4

Результаты апробации предлагаемых проектных решений подтвердили работоспособность используемых моделей и алгоритмов аналитической обработки производственной информации.

Показатель функциональной эффективности управления MES-системы свидетельствует о ее высокой функциональной эффективности управления.

Заключение

Высокая интеграция между различными информационными системами требует много времени и огромных капиталовложений. Хотя предприятия внедряют системы управления расходами в общий финансовый центр обслуживания с помощью новых информационных технологий, таких как большие данные и облачные вычисления, все еще существуют такие проблемы, как невозможность сбора кросс-системных данных, несвоевременный учет расходов и отчет об анализе фиксированных затрат.

Для решения данных проблем необходимо обеспечить оптимизацию системы учёта, контроля и анализа расходов (системы управления расходами) производственного предприятия.

Не вызывает сомнений, что достоверность результатов анализа производственной деятельности предприятия, а, следовательно, правильность принятых управленческих решений, зависят от качества используемой учетно-аналитической информации.

Магистерская диссертация посвящена актуальной проблеме исследования и применения моделей и алгоритмов, обеспечивающих оптимизацию системы управления расходами предприятия.

Выполненные в работе исследования представлены следующими основными результатами:

- проанализировано современное состояние проблемы оптимизации системы управления расходами производственного предприятия. Производственная информация рассматривается как учетно-аналитическая информация, сопровождающая процесс производства готовой продукции на предприятии. Проблема преобразования производственной информации в актуальную решается на стадии ее аналитической обработки и представляет научно-практический интерес. Анализ известных ИТ-решений показал, что они недостаточно эффективны для решения задач обработки

производственной информации ввиду функциональной избыточности и сложности интеграции в производственный процесс предприятия.

Как показал анализ источников по теме исследования, аналитическая обработка производственной информации входит в задачи информационных MES-систем, относящихся к категории систем управления производством. Поэтому представляется более целесообразным рассмотреть и проанализировать методы и технологии обработки учетно-аналитической информации, используемые в современных MES-системах;

- проанализированы методы и технологии аналитической обработки производственной информации в MES-системах. Как показал анализ, «современный промышленный уровень компьютерного интегрированного управления (СІМ) для перерабатывающих отраслей в настоящее время сосредоточен на интеграции между ERP, MES и системой управления процессами PCS» [35]. Необходимо рассмотреть возможность использования методов оперативной аналитической обработки информации и Data mining, используемых в современных MES-системах. Наибольшую эффективность обработки производственной информации в MES-системах обеспечивают технология ROLAP для построения хранилища данных, а также методы кластеризации и классификации данных;
- предложены модели и алгоритмы, повышающие эффективность аналитической обработки производственной информации в MES-системах. Для построения модели хранилища данных MES-системы использована технология ROLAP, схема «Снежинка». Кластеризация К-средних является ценным инструментом для расширения возможностей систем управления производством. Используя К-средние, производители могут получить представление о производственных процессах, улучшить контроль качества, оптимизировать распределение ресурсов и повысить общую

эффективность работы. Несмотря на свои ограничения, при тщательном внедрении и учете характеристик данных, К-средние могут внести значительный вклад в принятие решений на основе данных в производственных средах. Используя CART, производители могут получить представление о предиктивном обслуживании, контроле качества, планировании производства и многом другом. Несмотря на свои ограничения, при тщательном внедрении и проверке CART может внести значительный вклад в принятие решений на основе данных и эффективность работы в производственных средах.

- выполнены апробация предлагаемых проектных решений и оценка их эффективности. Результаты апробации предлагаемых проектных решений подтвердили работоспособность используемых моделей и алгоритмов аналитической обработки производственной информации.

Таким образом, в работе решена актуальная научно-практическая проблема оптимизации системы учёта, контроля и анализа расходов производственного предприятия.

Гипотеза исследования подтверждена.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Анализ данных с использованием Python. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/353050> (дата обращения: 15.10.2024).
2. Архитектура платформы 1С: Предприятие 8 [Электронный ресурс]. URL: <https://v8.1c.ru/platforma/analiz-dannykh-i-prognozirovanie/> (дата обращения: 15.10.2024).
3. Барсегян А.А., Куприянов М.С. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining, БХВ-Петербург, 2004. 336 с.
4. Вдовин В. М., Суркова Л. Е., Шурупов А.А. Предметно-ориентированные экономические информационные системы: учебное пособие. М. : Дашков и К, 2016. 386 с.
5. ГОСТ Р МЭК 61512-1. Управление серийным производством. Москва: Стандартинформ, 2016.
6. Дудник А. А., Петроченков А. Б. Применение OLAP технологии в системах поддержки принятия решений [Электронный ресурс] // Перспективы развития информационных технологий. 2008. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-olap-tehnologii-v-sistemah-podderzhki-prinyatiya-resheniy> (дата обращения: 10.02.2022).
7. Краюшкин Д.В. Методы и средства аналитической обработки информации. Обзор // Информационные технологии и вычислительные системы. 2008. №1. С. 82-93.
8. Леоненков А. В. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с использованием UML и IBM Rational Rose [Электронный ресурс] : учебное пособие. М. : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2020. 317 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iprbookshop.ru/97554.html> (дата обращения: 10.02.2022).
9. Миргородская М.Г. Учетно-аналитическая информация в системе управления организацией // Вопросы экономики и права. 2013. № 3. С. 124-129.

10. Мосин С. В. Методы и алгоритмы формирования многомерных данных с использованием промежуточных представлений // Автореферат диссертации на соискание ученой степени к. ф.-м. н., Челябинск: ЮУрГУ, 2017.

11. Полуянов А. Н. Разработка и исследование технологии аналитической обработки данных с контекстными ограничениями // Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н., Новосибирск: СибГУТИ, 2009.

12. Программа «Бизнес-аналитика и KPI» для «1С:Предприятие 8» [Электронный ресурс]. URL: <https://integrate.analitica.ru> (дата обращения: 15.10.2024).

13. Программный продукт «1С: MES. Оперативное управление производством» [Электронный ресурс]. URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/mes/features> (дата обращения: 15.10.2024).

14. Решение AVEVA InSight [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aveva.com/en/products/insight/> (дата обращения: 15.10.2024).

15. Решение IBM InfoSphere Information Server for Data Quality [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ibm.com/products/infosphere-info-server-for-datamgmt> (дата обращения: 15.10.2024).

16. Семченков С.Ю. Алгоритмы проектирования систем многомерного анализа данных, основанных на OLAP технологии // Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н., Рязань: РГРТУ, 2010.

17. Типовое проектирование ИС [Электронный ресурс]. URL: <https://intuit.ru/studies/courses/2195/55/lecture/1622> (дата обращения: 15.10.2024).

18. Чубукова И. А. Data Mining [Электронный ресурс] : учебное пособие. Москва, Саратов : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2020. 469 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/89404.html> (дата обращения: 15.10.2024).

19. Byeong Woo Jeona, Jумыung Um, Soo Cheol Yoon and Suh Suk-Hwan

“An architecture design for smart manufacturing execution system”, Computer-Aided Design & Applications, 2017, Vol. 14, No. 4, P. 472–485.

20. Class Diagram [Электронный ресурс]. URL: <https://www.smartdraw.com/class-diagram/> (дата обращения: 15.10.2024).

21. Data Modeling [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/data-modeling> (дата обращения: 15.10.2024).

22. Decision Tree Classification Algorithm [Электронный ресурс]. URL: <https://www.javatpoint.com/machine-learning-decision-tree-classification-algorithm> (дата обращения: 15.10.2024).

23. Huiying Li, Xinfu Pang and Binglin Zheng and Tianyou Chai “The architecture of manufacturing execution system in iron & steel enterprise”, IFAC Proceedings Volumes, Vol. 38, Issue 1, 2005, P. 181-186.

24. IBM Rational Rose Enterprise [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ibm.com/support/pages/ibm-rational-rose-enterprise-7004-ifix001> (дата обращения: 15.10.2024).

25. Jaroli P., Masson P. Data Warehousing and OLAP Technology, International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), Vol. 51, Num.1, 2017. P.45-50.

26. Johnson S. Manufacturing Accounting 101: Key Methods and Concepts [Электронный ресурс]. URL: (дата обращения: 15.10.2024).

27. Katana software [Электронный ресурс]. URL: <https://katanamrp.com/mes-software/> (дата обращения: 15.10.2024).

28. K-means Clustering – Introduction [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/k-means-clustering-introduction/> (дата обращения: 15.10.2024).

29. Manufacturing execution systems [Электронный ресурс]. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/manufacturing-execution-systems-mes/38072> (дата обращения: 15.10.2024).

30. MANUFACTURO [Электронный ресурс]. URL: <https://manufacturo.com/> (дата обращения: 15.10.2024).
31. Mitrea D., Levente T. Manufacturing Execution System Specific Data Analysis-Use Case With a Cobot, IEEE Access, 2018.
32. Modelling of Information System Requirements [Электронный ресурс]. URL: <https://www.g-casa.com/conferences/slovenia/papers/Kniezova.pdf> (дата обращения: 15.10.2024).
33. MySQL Workbench. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mysql.com/products/workbench/features.html> (дата обращения: 15.10.2024).
34. Nenad Jukic, Boris Jukic, and Mary Malliaris. Online Analytical Processing (OLAP) for Decision Support. URL: <http://malliaris.me/OlapChapterJan2007.pdf>. (дата обращения: 15.10.2024).
35. Process automation: PCS-MES-ERP [Электронный ресурс]. URL: <https://www.imperial.ac.uk/process-automation/research/pcs-mes-erp/> (дата обращения: 15.10.2024).
36. Project Jupyter [Электронный ресурс]. URL: <https://jupyter.org/> (дата обращения: 15.10.2024).
37. Scikit-learn [Электронный ресурс]. URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/scikit-learn/> (дата обращения: 15.10.2024).
38. Stassen I.T.J. The informational abilities and opportunities of Manufacturing Execution System data, Eindhoven University of Technology, 2016.
39. The Logical Model [Электронный ресурс]. URL: <https://sparxsystems.com/resources/tutorials/uml/logical-model.html> (дата обращения: 15.10.2024).
40. UML 2.ru – Сообщество Аналитиков [Электронный ресурс]. URL: <https://www.uml2.ru/> (дата обращения: 15.10.2024).
41. UML Sequence Diagrams [Электронный ресурс]. URL: <https://www.uml-diagrams.org/sequence-diagrams.html> (дата обращения: 15.10.2024).

42. Visual Paradigm [Электронный ресурс]. URL: <https://online.visual-paradigm.com> (дата обращения: 15.10.2024).

43. What is a manufacturing execution system [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ibm.com/topics/mes-system> (дата обращения: 15.10.2024).

44. What is ROLAP? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sisense.com/glossary/olap/> (дата обращения: 15.10.2024).

45. What is the Manufacturing Execution System? MES Benefits, Architecture & Core Functions [Электронный ресурс]. URL: <https://www.spaceo.ca/manufacturing-execution-system-mes/> (дата обращения: 15.10.2024).