



На правах рукописи

Федотова Анжелика Витальевна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И РАЗРАБОТКА
МЕТОДОВ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ В ОБОГАТИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Специальность 2.5.22 Управление качеством продукции. Стандартизация.
Организация производства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иркутск – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

- Научный руководитель:** **Лончих Павел Абрамович**
доктор технических наук, профессор
- Официальные оппоненты:** **Полякова Марина Андреевна**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова», профессор
кафедры «Технологий обработки материалов»
(г. Магнитогорск)
Хаймович Ирина Николаевна
доктор технических наук, профессор,
ФГАОУ ВО «Самарский национальный
исследовательский технический университет им.
академика С.П. Королева», профессор кафедры
«Обработки металлов давлением»
(г. Самара)
- Ведущая организация** ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
(г. Тула)

Защита состоится «03» апреля 2025 г. в 15-00 часов на заседании диссертационного совета ИРНИТУ.05.04, созданного на базе ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» по адресу: <https://www.istu.edu/deyatelnost/nauka/dissertatsil/elementy/>.

Отзывы на автореферат (в 2-х экземплярах, заверенные печатью организации) направлять по адресу диссертационного совета ИРНИТУ.05.04:

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ИРНИТУ, ауд. Г-212а, ученому секретарю, e-mail palon@list.ru, телефон: (8-3952) 40-51-79.

Автореферат разослан 30 января 2025 года.

Учёный секретарь
диссертационного совета ИРНИТУ.05.04
кандидат экономических наук, доцент

Головина Елена Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время в условиях обострившейся конкуренции рынков производства и потребления продукции машиностроительной и горнодобывающей отрасли, предъявления более жестких условий к производству, обоснованных потребностью импортозамещения в условиях санкционных ограничений, прежде всего возникает необходимость совершенствования систем управления в обогащительной промышленности, поскольку это обусловлено сочетанием специфики отрасли, внешних экономических условий и требований к эффективности и устойчивости.

Обогащительные предприятия сталкиваются с необходимостью повышения эффективности, снижения издержек и обеспечения экологической безопасности в условиях истощения традиционных месторождений и сложностями, связанными с особенностями горнодобывающей деятельности. Существующие системы управления предприятием часто не справляются с задачей быстрой адаптации к изменяющимся условиям рынка и технологическим инновациям, что приводит к снижению конкурентоспособности и риску отставания от мировых лидеров отрасли.

Традиционные модели управления, основанные на централизованных решениях и иерархических структурах, оказываются недостаточно гибкими для адаптации к быстро меняющимся условиям рынка и технологическим вызовам. Конкурентная по отношению к ней, сетевая модель управления, основанная на принципах децентрализации, кооперации и информационной прозрачности, предлагает перспективный подход к решению этих проблем, объединяя усилия различных участников отрасли и способствуя устойчивому развитию. В этом контексте важным инструментом управления становится цикл Бойда, основанный на сетевом механизме управления. При этом, особую актуальность приобретает возможность модернизации цикла Бойда, который позволяет эффективно адаптироваться к изменениям в сфере обогащения полезных ископаемых. Кроме того, необходимо управление рисками износа высокотехнологичного оборудования на обогащительных предприятиях. Сетевая модель позволит совершенствовать профилактическое обслуживание и быстро реагировать на потенциальные неисправности, минимизируя простои и потери.

Таким образом, применение современных методов управления и адаптация к новым условиям являются ключевыми факторами для обеспечения конкурентоспособности горно-обогащительных предприятий. Необходимость интеграции цифровых технологий в процессное управление также становится важным аспектом, позволяющим совершенствовать процесс мониторинга и анализа производственных показателей. Устойчивое развитие отрасли невозможно без активного взаимодействия между всеми участниками производственного процесса, что подчеркивает значимость сетевой модели. В условиях глобализации экономики и постоянных изменений на рынке, организации должны быть готовы к инновациям и трансформациям, что делает актуальной разработку новых стратегий управления. Данное исследование направлено на выявление эффективных решений по повышению устойчивости и конкурентоспособности предприятий в обогащительной промышленности.

Степень разработанности темы исследования. Научное сообщество активно исследует современные методы управления в обогащительной промышленности, включая сетевые системы и акциоподобные схемы сетевого взаимодействия. Среди ученых, вносящих весомый вклад в эту область, можно назвать Р.П. Агаев, Н.О. Амелин, В.Н. Бурков, И.И. Блехман, В.А. Витих, Ю.Б. Гермейер, О.Н. Граничин, В.И. Городецкий, Б.А. Джапаров, И.А. Каляев, В.В. Кондратьев, А.А. Лазарев, Д.А. Новиков, А.В. Проскурников, К.И. Сонин, П.О. Скобелев, А.Л. Фрадков, J. Jiao, W. Ren, R. Smith, H. Van Brussel и др. Однако исследования подтверждают, что для эффективного управления обогащительными предприятиями необходим переход к новой парадигме, базирующейся на модернизированном

цикле Бойда и сетевом подходе, где достижение консенсуса и синхронизация действий отдельных узлов сети приоритетнее оптимального управления отдельными компонентами. Реализацию такой системы целесообразно осуществлять с помощью корпоративных информационных систем. Исследования, посвященные ключевым аспектам развития открытых горных работ, управлению процессами, рациональному использованию ресурсов и повышению качества продукции, проводили такие ученые, как М.И. Агошков, А.И. Арсентьев, М.В. Васильев, П.И. Городецкий, И.В. Зырянов, Н.В. Мельников, М.Г. Новожилов, А.И. Омельченко, В.В. Ржевский, В.С. Хохряков, Б.П. Юматов и многие другие известные специалисты в области горного дела. Современные подходы к принципам и методам обеспечения качества процессов и систем управления значительно сформированы основополагающими работами таких ученых, как Э. Деминг, К. Исикава, Т. Конти, Ф. Кросби, Г. Тагути, А. Файоль, А. Фейгенбаум, Дж. Харрингтон, У. Шухарт, Дж. Эванс и других. Теоретические исследования в области менеджмента качества и управления производственными процессами также нашли отражение в трудах многих российских ученых, среди которых следует отметить работы таких специалистов, как Е.Ф. Авдокушин, В.Н. Азаров, И.Л. Авдеева, В.А. Васильев, Е.Ю. Головина, Н.Д. Гуськова, А.М. Долгин, В.В. Ильинский, В.Н. Козловский, С.А. Одинокоев, А.В. Олейник, В.Е. Петров, М.А. Полякова, Е.В. Плехотникова, М.Е. Ставровский, А.В. Цырков, В.Г. Шуметова и других.

Объектом исследования является сетевая система управления, действующая на высокотехнологичных предприятиях.

Предмет исследования – методы и алгоритмы совершенствования сетевой модели управления на горно-обогатительных предприятиях.

Цель исследования состоит в создании эффективной системы управления предприятиями на основе сетевого подхода в условиях быстрых изменений во внешней и внутренней среде.

В соответствии с целью исследования необходимо решить следующие **задачи**:

1. Разработать подход при модернизации сетевой модели, включающей инструменты и методы для эффективного управления системами.
2. Провести анализа существующей системы менеджмента при сетевой модели управления, выявить ее преимущества и недостатки в контексте организации и определить внешние и внутренние факторы, которые существенны с точки зрения целей, политики, миссии и стратегии организации.
3. Создать основные алгоритмы и методы корпоративной информационной системы (КИС) сетевого управления.
4. Разработать функции и принципы цикла работы корпоративной информационной системы, важнейшим звеном которой является сетевая модель, созданная на уровне вертикального и горизонтального взаимодействия, а также стратегического и оперативного управления.
5. Разработать алгоритм минимизации рисков износа технологического оборудования в горно-обогатительном производстве в условиях реализации сетевых систем.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Предложен метод улучшения эффективности системы управления, основанный на совершенствовании цикла Бойда с введением нового элемента «Изменить».
2. Разработана модернизированная сетевая модель управления на основе цикла Бойда, включающая в себя механизмы быстрого обмена информацией, децентрализованного принятия решений и координации действий.
3. Разработан метод управления рисками износа технологического оборудования на основе анализа алгоритма управления технологическими процессами как виброактивной системы, которая включает в себя грохоты, сепараторы, сушилки, мельницы, генерирующие механические колебания.

Теоретическая значимость работы заключается в совершенствовании сетевидной системы и управления рисками технологических процессов горно-обогатительного производства.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработан метод совершенствования систем управления и методов сетевидной модели за счет развития цикла Бойда, что позволяет повысить адаптивность и эффективность принятия решений в динамичных условиях, приводя к более быстрому реагированию на изменения в окружающей среде.

2. Разработана схема построения, функции и архитектура КИС на основе сетевидной модели, что дает возможность интегрировать различные бизнес-процессы и обеспечивать более высокую степень взаимодействия между подразделениями, приводя к повышению общей производительности.

3. Разработан метод управления рисками износа технологического оборудования на основе анализа алгоритма управления технологическими процессами как виброактивной системы, что позволяет своевременно выявлять потенциальные проблемы и минимизировать простои, приводя к увеличению надежности и сроков службы оборудования.

4. Применен разработанный цикл и подход сетевидного управления на ООО «Вектор» и Мирнинско-Нюрбинском ГОК АК «АЛРОСА».

Практическая значимость работы подтверждена актами внедрений, апробаций на предприятиях и в учебный процесс ИРНИТУ.

Методы исследования. Для достижения поставленных в данной работе целей были использованы следующие подходы и инструменты:

- инструменты системы менеджмента качества (СМК), цифровая трансформация систем управления: внедрены протоколы корпоративной информационной системы и распределительная информационная система, что обеспечило эффективный обмен информацией и слаженность действий среди участников процесса;

- анализ и обработка данных: использованы статистические методы для получения достоверных результатов исследования, что повысило точность выводов;

- системные подходы: применен процессный подход, цикл PDCA для модернизированного цикла Бойда и методы системного анализа, что позволило структурировать и повысить результативность бизнес-процессов;

- управление рисками: были применены различные методы анализа и контроля рисков технологического оборудования, с целью снижения потенциально негативных последствий при введении новых решений;

- научные исследования: анализировались и использовались работы как отечественных, так и зарубежных специалистов в области менеджмента качества, процессного подхода и цифровизации, что обогатило исследование и улучшило его обоснованность.

Положения, выносимые на защиту:

1. Реализация подхода эволюции сетевидной модели управления, основанного на модернизации цикла Бойда, с введением нового элемента «Изменить».

2. Развитие цикла Бойда, как основы сетевидной модели управления, а также применение корпоративной информационной системы, для согласования формирования приоритетов и синхронизации стратегических и оперативных планов организации.

3. Реализация модели сетевидного управления, применимого в вариативных отраслях производства и услуг, путем развития цикла Бойда.

4. Метод управления рисками износа технологического оборудования на основе анализа управления колебательных механических систем.

Соответствие паспорту специальности 2.5.22:

- п. 1. Методы анализа, синтеза и оптимизации, математические и информационные модели состояния и динамики процессов управления качеством и организации производства;

- п. 4. Инновации при разработке, развитии, цифровизации систем менеджмента качества (СМК) предприятий и организаций;

- п. 11. Создание и развитие систем менеджмента, том числе, интегрированных (ИСМ) на основе ИСО 9001, ИСО 14001, ИСО 45001 и смежных отраслевых международных и отечественных стандартов.

Достоверность научных результатов обеспечивается корректностью постановки цели и задач, применением математических и статистических методов, анализом аналитических данных, а также качественным и количественным согласованием теоретических результатов с практическими данными, полученными в ходе внедрения разработанной сетцентрической модели, алгоритмов и схем на обогатительных предприятиях и подготовке научных публикаций и материалов для участия в конференциях и научно-технических мероприятиях, формулировке выводов, рекомендаций и заключения по работе.

Конкретное личное участие автора в получении результатов научных исследований, изложенных в диссертации.

Личный вклад автора заключается в комплексном исследовании научно-технической литературы, посвященной современным сетцентрическим подходам к управлению и их применению в обогатительном производстве. Были сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, разработаны методики для проведения исследований, а также организованы и осуществлены экспериментальные работы по улучшению сетцентрической модели управления. В рамках этих исследований были созданы алгоритмы для управления процессами обогащения и методы оценки их эффективности. Был проведен анализ и обобщение полученных данных, обоснованы выводы и подготовлен ряд научных публикаций.

Апробация результатов диссертации осуществлялась на международных и всероссийских научно-технических и научно-практических конференциях:

- Всероссийская научно-практическая конференция «Байкальская наука: идеи, инновации, инвестиции» (г. Иркутск, 2022 г.);

- XIII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов» (г. Иркутск, 2023 г.);

- XIV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Перспективы развития, совершенствования и автоматизации высокотехнологичных производств» (г. Иркутск, 2024 г.);

- 2024 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (2024 TIS&IT), (г. Санкт-Петербург, 2024 г.);

- 11-й международный аэрокосмический конгресс. Секция 6 «Управление качеством и сертификация» (г. Москва, 2024 г.);

- Международная научно-техническая конференция «СМИС-2024. Технологии управления качеством» (г. Москва, 2024 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, который включает 122 источника, а также трех приложений. В работе представлено 18 таблиц и 44 рисунков. Общий объем текста составляет 160 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении подтверждена значимость и актуальность исследования, а также четко обозначена проблема, требующая решения. Проведен анализ существующей литературы и имеющихся исследований, касающиеся темы диссертационной работы. Представлено четкое изложение главной цели работы и конкретных задач, которые необходимо решить для ее достижения. Представлены основные элементы новизны. Разъяснена теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования. В завершении вводной части

работы представлена логическая организация работы и краткий обзор содержания и глав. Представлен личный вклад автора в развитие рассматриваемой темы.

В первой главе выполнен анализ сетцентрической модели, включая её преимущества и проблемы, возникающие при разработке и внедрении в сфере обогащения полезных ископаемых. Рассматривается влияние данной модели на повышение производственной эффективности, снижение воздействия на экологию и улучшение устойчивости, а также на обеспечение безопасности в отрасли.

Сетцентрическая система представлена как модель организации и управления (рис. 1), основанная на принципе взаимосвязи и взаимодействия всех участников процесса в единой сети.

Единое информационное пространство предприятия, основанное на корпоративных информационных технологиях, обеспечивает реализацию сетцентрической модели управления, объединяя руководителей, подразделения и объекты управления. Сетевая организация, характеризующаяся снижением авторитарного управления, повышением управления в рамках распределительной системы, децентрализацией решений и динамической самоорганизацией, представляет собой основу для реализации сетцентрической модели.

Проанализированная автором модель для предприятий позволила интегрировать различные элементы горно-обогатительного комплекса в системную модель, обеспечивая гибкость и адаптивность к изменениям. Основной целью внедрения такой модели является повышение результативности производственных процессов.

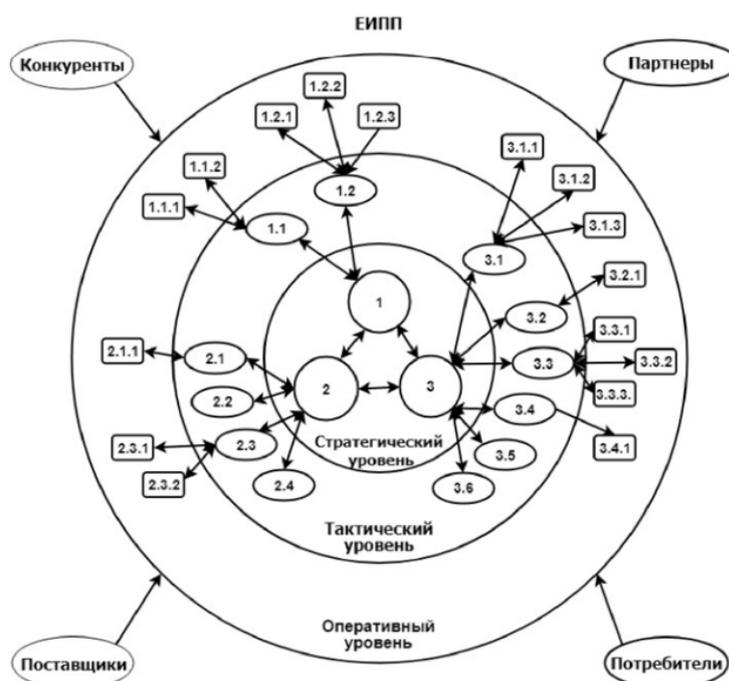


Рисунок 1 – Модель сетцентрического управления

Помимо этого, в первой главе осуществлен анализ возможности по модернизации цикла Бойда. В результате проведенного анализа был предложен подход, направленный на повышение эффективности управления процессами в системе менеджмента качества, адаптированный под особенности горно-обогатительного производства. Полученные результаты исследования свидетельствуют о целесообразности применения сетцентрического подхода, который активно применяется в управлении системами и процессами, что подтверждается улучшением производительности технологического оборудования.

Для успешной реализации сетцентрической модели модернизация цикла Бойда и использование передовых технологий для увеличения скорости и повышения качества на каждом этапе являются ключевыми факторами роста результативности процесса управления.

Классический цикл Бойда является мощным инструментом для принятия решений в условиях неопределенности, однако, в динамичной среде современного производства он может быть не всегда достаточно эффективным.

Суть внедрения нового элемента обратной связи «Изменить» заключается в поиске и реализации методов, направленных на повышение скорости, точности и адаптивности принятия решений в условиях быстро меняющейся среды. Используя современные технологии и научные подходы, этот элемент позволяет адаптировать бизнес-процессы к новым рыночным условиям и требованиям. Это обеспечивает более оперативную и эффективную реакцию на изменения как внешних факторов, так и внутренних условий организации. Кроме того, он помогает выявить узкие места и проблемы в процессах, а также внедрить инструменты управления производством для их улучшения и оптимизации.

Предложенный автором цикл Бойда сетцентрической модели имеет следующий вид:

1. наблюдение;
2. ориентирование;
3. принятие решения;

4. изменение: (включение дополнительного цикла «Изменить» (Modify)). Цикл охватывает аспекты цифровой трансформации, оптимизации процессов, внедрения автоматизации и увеличения ресурсов в системе управления. Система управления в автоматическом режиме вносит необходимые коррективы в работу оборудования в соответствии с указаниями оператора. Технологии цифровой трансформации и распределенная корпоративная информационная система выступают в качестве основных компонентов данной системы;

5. действие.

Данная модель с модернизированным циклом Бойда (рис. 2), позволила повысить результативность процесса и безопасность горно-обогатительного производства за счет улучшения контроля над процессами, а именно своевременно выявить отклонения в технологическом оборудовании горно-обогатительного производства, осуществляемые с помощью мониторинга и своевременной диагностики, что позволило определить параметры снижения рисков износа и увеличить межремонтный период эксплуатации.

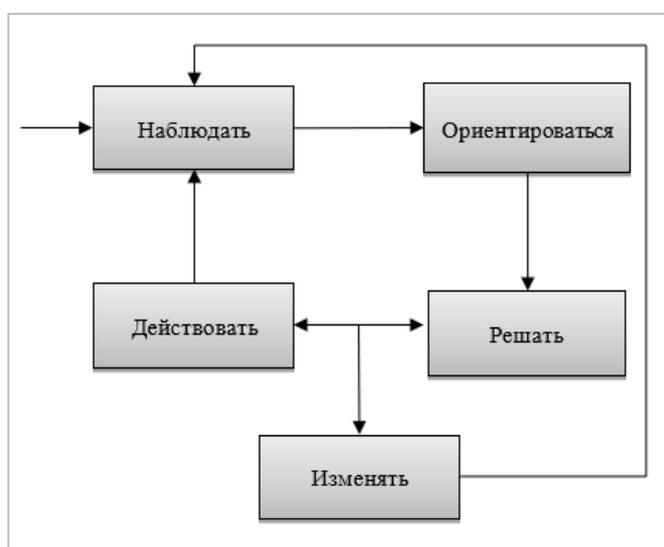


Рисунок 2 – Модернизированный цикл Бойда

В исследовании были проанализированы существующие модели управления, изучен цикл Бойда как модель быстрого принятия решений и разработана модернизированная сетевая модель управления на его основе. Проведено моделирование и оценка результативности разработанной модели, а также представлены рекомендации по ее внедрению. Данное исследование представляет собой определенный вклад в область управления в горно-обогатительном производстве и является необходимым инструментом для улучшения процессов управления в данной отрасли, а также учета ресурсов и персонала, включая контроль безопасности.

Во второй главе реализована концепция разработки корпоративной информационной системы, обеспечивающей процессное превосходство системы менеджмента качества за счет существования в реальном масштабе времени всеохватывающей информации о ходе реализуемых процессов.

Для результативного функционирования процессами предприятия была предложена система взаимосвязанных процессов, основанная на известных семи принципах менеджмента качества.

К основным бизнес-процессам горно-обогатительного предприятия отнесены: проектирование, строительство, добыча полезных ископаемых, обогащение и отгрузка готовой продукции.

Основной процесс исследования «Обогащение полезных ископаемых» (рис. 3), включает в себя подготовку, сортировку, извлечение ценных компонентов с использованием различных методов (флотации, гравитационного и магнитного обогащения), сушку, упаковку и контроль качества полученного продукта.

Предложенная автором сетевая модель на горно-обогатительном предприятии позволила создать более точные количественные прогнозы повышения ресурсов технологического оборудования, а также результативно планировать закупку материалов и повысить эффективность работы сотрудников.

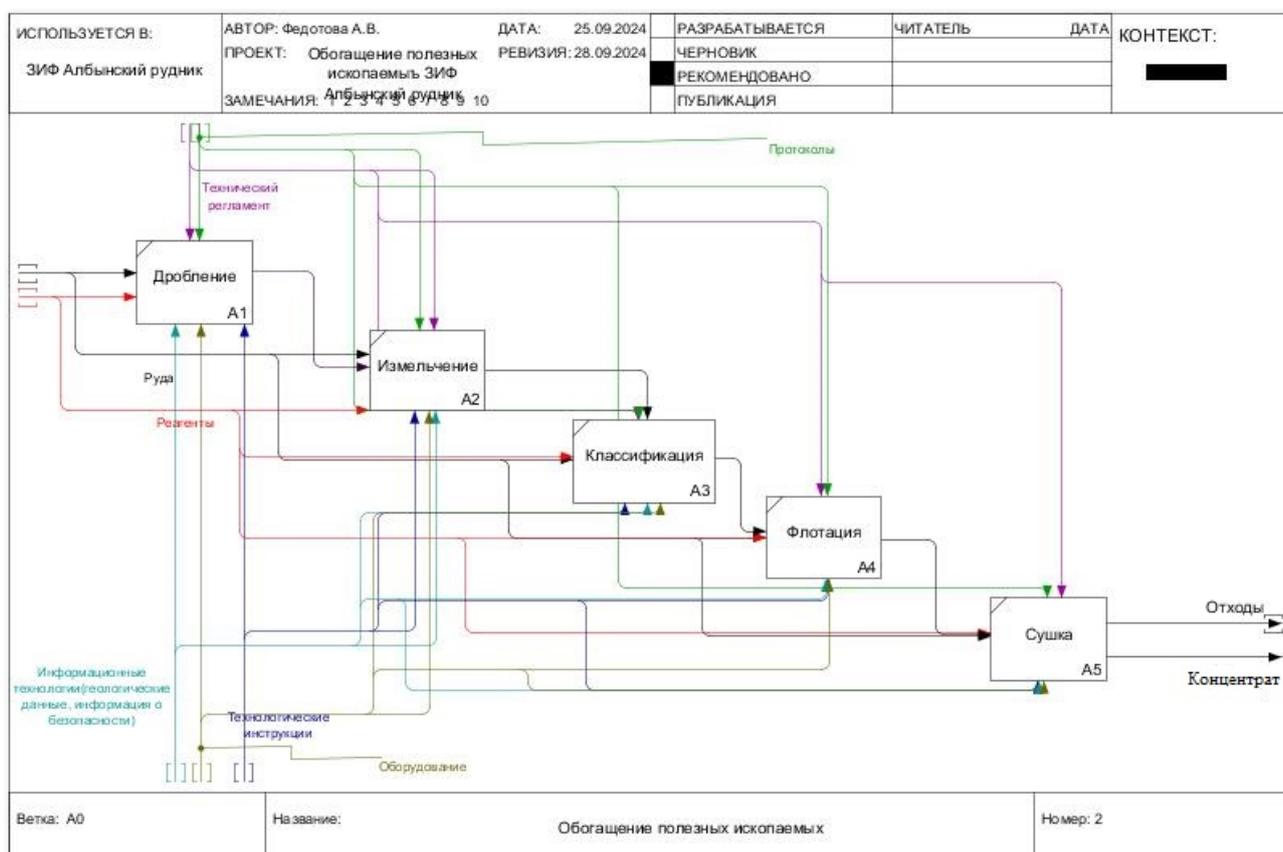


Рисунок 3 – Описание процесса «Обогащение полезных ископаемых»

Ранее на горно-обогатительных предприятиях наблюдалась недостаточная интеграция и координация процессов планирования и контроля за обогащением минерального сырья, что приводило к несогласованности действий между разными отделами и к простоям оборудования. Внедрение сетцентрической системы позволило создать единую платформу (шину данных), (рис. 4) объединяющую информацию из разных отделов для планирования и управления добычей, как основного этапа обогащения полезных ископаемых, который предшествует процессу дробления. Благодаря этой системе, руководство фабрик отслеживает процесс добычи в режиме реального времени и своевременно принимает меры по корректировке планов.

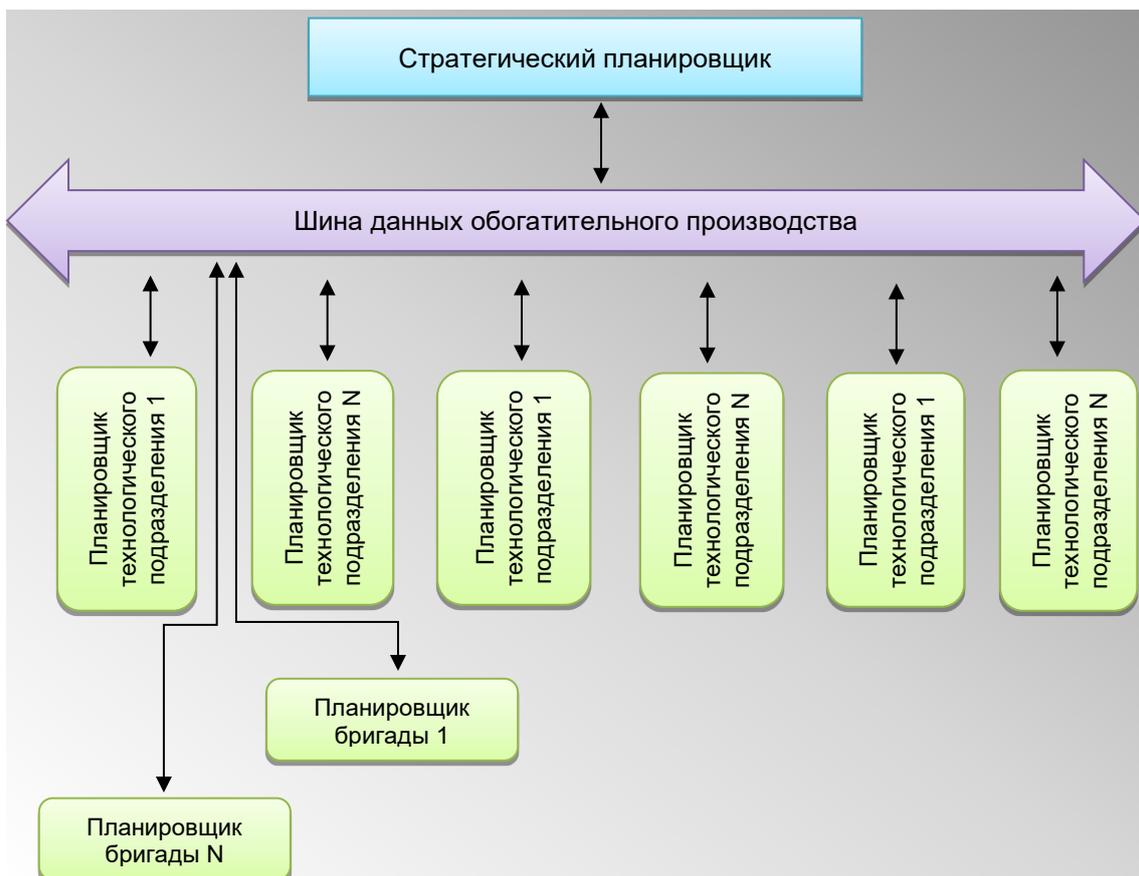


Рисунок 4 – Сетцентрическая архитектура корпоративной информационной системы управления ресурсами обогатительного предприятия в режиме реального времени

В процессе внедрения улучшенной сетцентрической концепции была применена технология одноранговых сетей. Эта технология, известная как P2P (peer-to-peer), позволяет формировать корпоративные системы, основываясь на принципах децентрализации, при которой распределение вычислительных ресурсов и сервисов осуществляется непосредственно между участниками сети без необходимости в центральном сервере.

Применение P2P-платформы (на базе программы ODANT) позволило изменить способы взаимодействия подразделений, обмена ими информации и создания ценностей, определяемых потенциалом цифровых технологий, что обеспечило возможность увеличить ресурсы оборудования, улучшить координацию процессов, ускорить обмен информацией.

В новом сетцентрическом подходе к управлению горно-обогатительными предприятиями предлагается использовать несколько современных корпоративных информационных систем для результативного управления ресурсами, включая планировщика для технологических подразделений и планировщика для бригад. Это позволяет создать гибкую сеть взаимодействия на основе принципа P2P. В рамках данной модели каждая

управленческая структура и подразделение оснащаются собственной системой информационного сопровождения, набором инструментов, которые предназначены для поддержки конкретных функций и задач каждого управленческого уровня или подразделения, что обеспечивает их способность эффективно взаимодействовать и согласовывать планы в ответ на различные изменения и события.

При разработке КИС для горно-обогатительных предприятий были использованы мультиагентные технологии (то есть протоколы), которые позволяют адаптивно изменять планы в ответ на события.

Протоколы КИС, основанные на модернизированной сетевидной модели с предложенным нами циклом обратной связи «Изменить», функционируют в режиме реального времени с постоянно действующей обратной связью, инициируемой поступающими событиями.

Схема алгоритма работы КИС для обработки новых заданий в ООО «Вектор» активируется при получении события, связанного с запросом добавления нового задания в план (рис. 5).

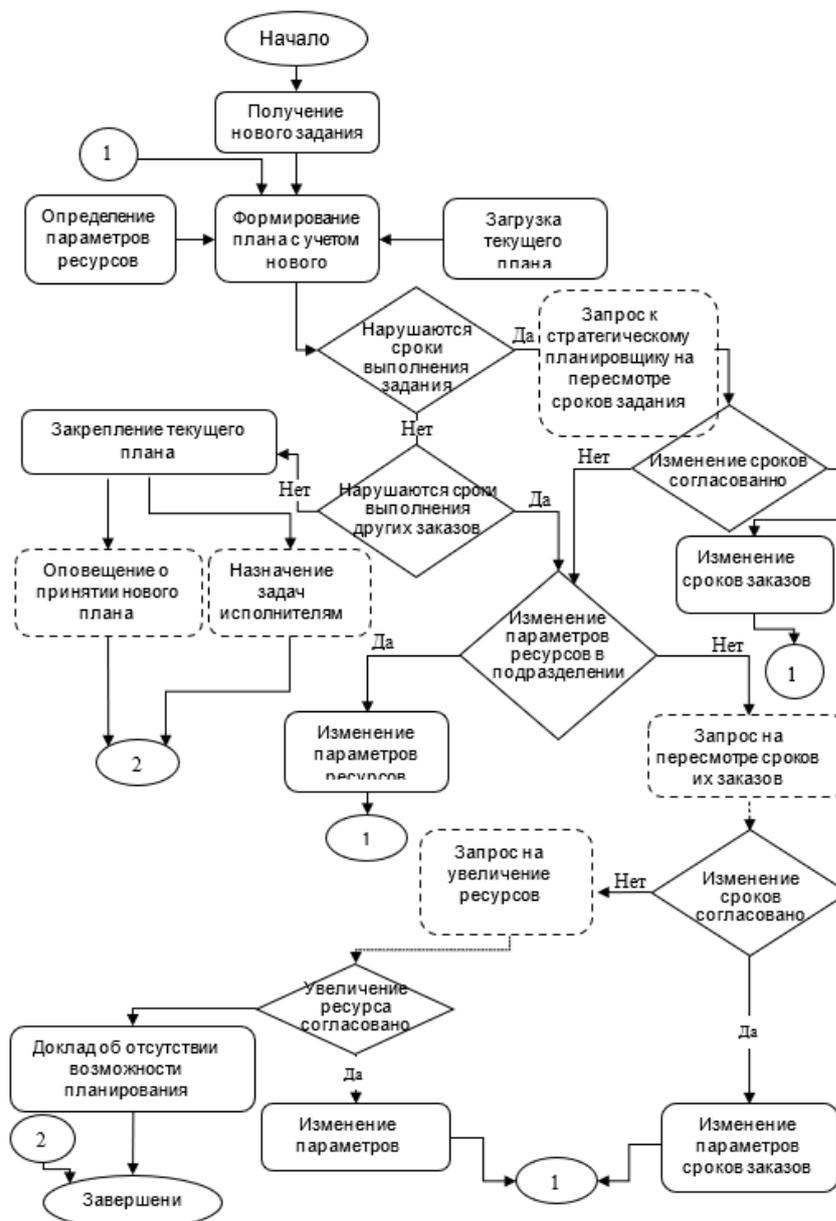


Рисунок 5 – Схема алгоритма работы КИС при модернизированном сетевидном управлении

Предложенный новый модернизированный сетевый подход к управлению на горно-обогатительном предприятии был реализован через создание корпоративных информационных систем. Данный подход применен в ходе апробации результатов научного исследования при внедрении на ООО «Вектор» и Мирнинско-Нюрбинском ГОК АК «АЛРОСА» и предусматривает переход от иерархического управления к сетевому с использованием КИС для стратегического планирования и оперативного управления ресурсами. Благодаря этому, производственные планы корректируются и согласуются в режиме реального времени, мгновенно реагируя на любые изменения.

В третьей главе представлено обоснование использования предложенной усовершенствованной сетевым модели управления по улучшению процессов в обогатительном производстве.

В информационной системе предприятия на постоянной основе осуществляется модернизированный цикл Бойда, предложенный автором (этапы: «Наблюдай – Ориентируйся – Решай – Изменяй – Действуй»), который применяется к комплексу заказов и ресурсам, находящимся под управлением системы. Далее представлены ключевые функции этой информационной системы для внедрения обновленного цикла Бойда (рис. 6).

Н – наблюдай, О – ориентируйся, Р – решай, И – изменяй, Д – делай.

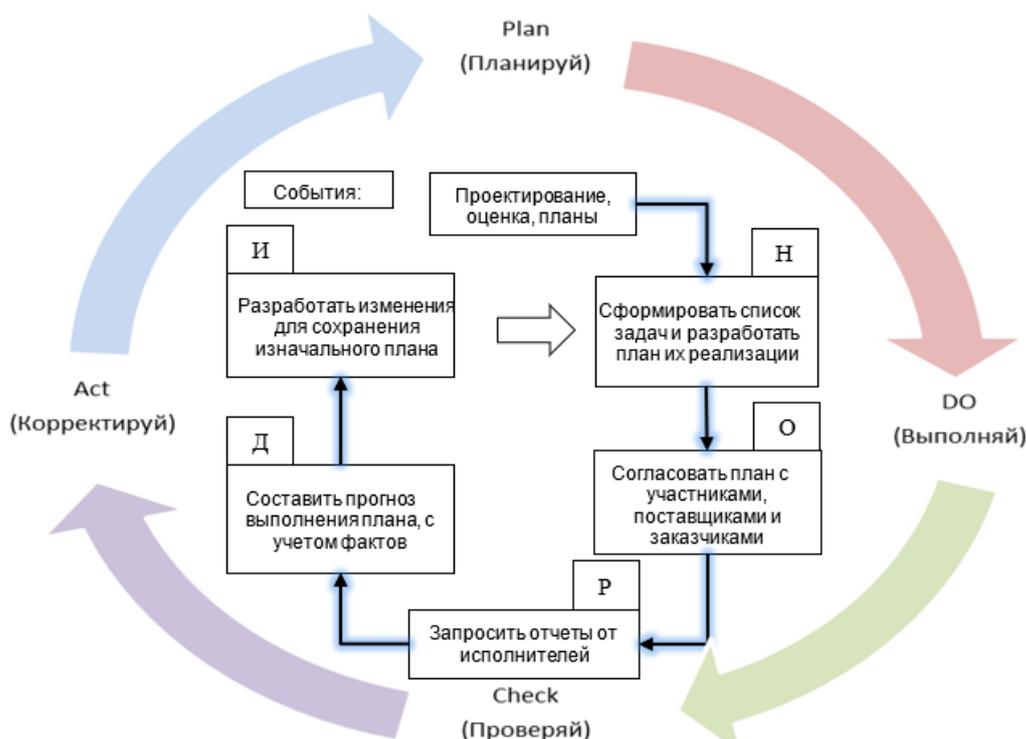


Рисунок 6 – Модернизированный цикл работы КИС

Взаимодействие КИС обеспечивается через сетевую платформу, предоставляющую общую шину для передачи данных и согласования решений.

Для поддержки этого цикла программирования в системе КИС необходимо было определить функции, разработать архитектурные решения и выбрать подходящую технологию для их реализации. Для реализации предложенного подхода была разработана следующая логическая структура, которая направлена на повышение эффективности управления и ресурсов предприятия (рис. 7).

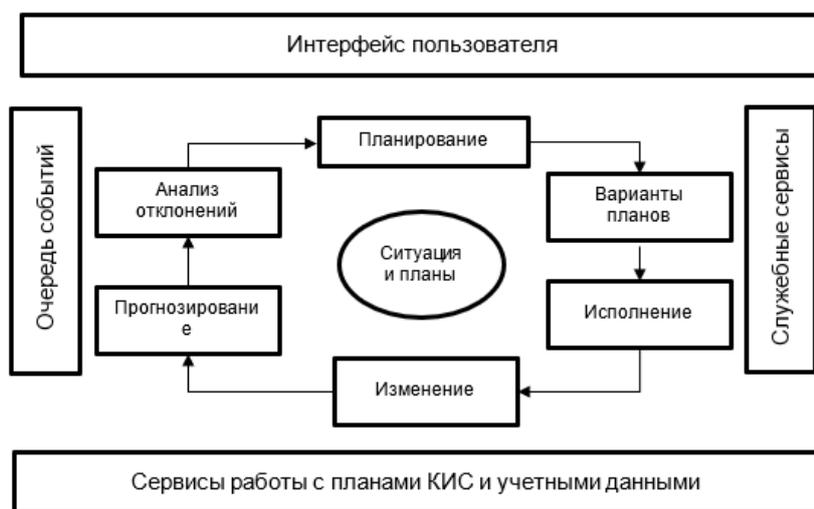


Рисунок 7 – Логическая структура КИС

Предложенный автором модернизированный цикл Бойда дополняет классическую модель этапом «Изменяй», делая его более динамичным и отражая постоянную необходимость в корректировке действий в изменяющейся среде.

Далее, в третьей главе рассмотрен алгоритм применения предложенной модернизированной сетевидной модели в целях управления рисками и повышения ресурса технологического оборудования в горно-обогатительном производстве. В предложенном нами модернизированном цикле Бойда («Наблюдай – Ориентируйся – Решай – Изменяй – Действуй») особое внимание уделяется этапу: «Изменяй» в контексте ресурсов технологического оборудования.

Горно-обогатительные фабрики оснащены технологическим оборудованием: дробилки, грохоты, барабанные мельницы, ленточные конвейеры. Все это оборудование характеризуется значительными динамическими нагрузками, повышенным акустическим шумом, вибрацией. Так, в «Техническом описании и руководстве по эксплуатации» грохота вибрационного ГИЛ 051, ГИЛ 052 указаны требования: текущего, среднего и капитального ремонтов. При этом, средний ремонт грохота выполняют подвижные или стационарные ремонтные службы каждые 7000 часов работы грохота. Капитальный ремонт выполняется каждые 11000 часов работы грохота.

Нами предложено внедрение активной системы виброзащиты, в которой наряду с упругими и демпфирующими элементами, введена в действие система управления с отрицательной обратной связью, реализующая принцип сетевидной системы в виде модернизированного цикла Бойда и этапом: «Изменяй». При этом в систему управления входят датчики, распределительные и исполнительные механизмы. Алгоритм управления такой системы предложен нами на основе анализа ее динамики.

В четвертой главе предложены метод и инструменты управления рисками на высокотехнологичном горно-обогатительном предприятии Мирнинско-Нюрбинский ГОК АК «АЛРОСА», оснащенным виброактивным оборудованием.

Использование метода диакоптики, который предполагает декомпозицию сложной механической системы на составные элементы с инерционными, жесткостными и демпфирующими свойствами, дало возможность значительно упростить исходную динамическую модель до модели с малой размерностью. Это, в свою очередь, позволило провести оценку рисков работы вибрационного грохота на Мирнинско-Нюрбинском ГОК АК «АЛРОСА» (рис. 8). Для анализа динамических свойств и характеристик оборудования было необходимо перейти от комплексной технологической системы к более простой модели, которую можно разделить на относительно независимые подсистемы. Такой подход позволил выявить потенциальные риски в процессе реализации модернизированного цикла Бойда.

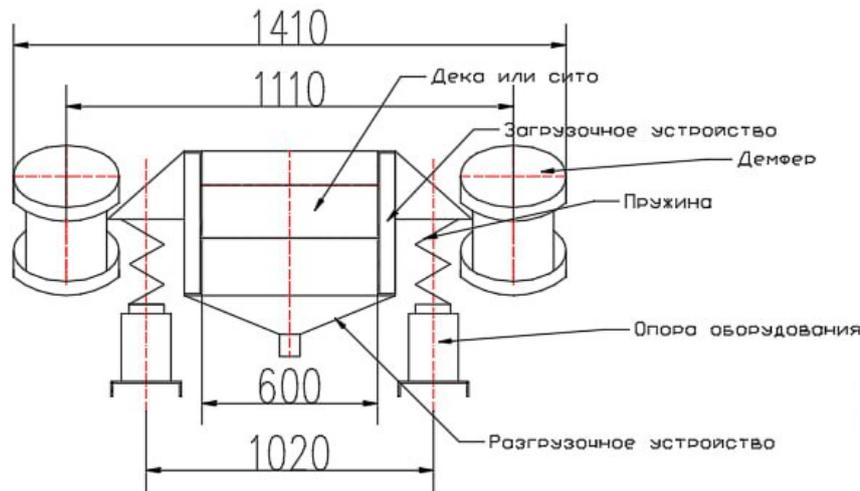


Рисунок 8 – Вибрационный грохот

Установлено, что применение данного метода способствует улучшению качества продукции, снижению рисков и уменьшению сбоев, что в итоге ведет к результативности производственного процесса и может быть обосновано в результате научных исследований и практических экспериментов на ООО «Вектор».

На Мирнинско-Нюрбинском ГОК АК «АЛРОСА» повышение уровня безопасности и минимизация рисков достигаются за счет мониторинга вибрации грохота, своевременной диагностики и управления износом оборудования в рамках обновленного цикла Бойда.

Применение метода диакоптики и уравнений Лагранжа второго рода предоставило возможность вывести набор дифференциальных уравнений, которые позволяют охарактеризовать движение материальных точек виброактивной механической системы (1), включающей в себя жесткостные, инерционные, демпфирующие компоненты. Применение данного подхода позволяет быстро составить модель функционирования системы, в результате чего возможно предсказывать ее динамические характеристики:

$$\begin{aligned} M\ddot{x} + (c_2 + c_3)x + (c_3h_3 - c_2h_2)\varphi &= P\sin\alpha \\ M\ddot{z} + (c_1 + c_4 + c_5)z + (c_4a_4 - c_5a_5)\varphi &= P\cos\alpha J_n\ddot{\varphi} + (c_2h_2^2 + c_3h_3^2 + \\ c_4a_4^2 + c_5a_5^2)\varphi + (c_3h_3 - c_2h_2)x + (c_4a_4 - c_5a_5)z &= -Ph_p\sin\alpha. \end{aligned} \quad (1)$$

где M , c , инерционные и жесткостные характеристики механической виброактивной системы;

P_i - проекции силы на выбранные оси координат;

h_i - плечо соответствующей силы при определении моментов сил;

x, y, z - координаты относительно выбранных осей;

c_i - жесткостные коэффициенты;

$J_\eta = \iiint_{(m)} (\xi^2 + \zeta^2) dm$ - массовый момент инерции тела по отношению к соответствующим осям инерции.

Полученные дифференциальные уравнения (1), описывают механическое движение виброактивных устройств, включая грохоты. Применяя аналитические методы для решения линейных задач или линеаризованные подходы с ограниченным числом степеней свободы, а также численные методики к многомерным нелинейным системам, можно разработать стратегию для решения задач декомпозиции, используя диакоптические методы.

Искомая координата линейного перемещения в механической системе, обозначаемая как $x_1(t)$, может быть определена путём решения дифференциального уравнения (2) относительно выходной координаты. Выполнив необходимые математические преобразования для получения выходных координат, мы приходим к следующему результату:

$$x_1(t) = \frac{1}{mp^2} [cp(x - x_1) + k(x - x_1)], \quad (2)$$

В данном контексте параметр p следует читать, как $p = d/dt$, полагая, что он обозначает знак дифференцирования, применяемый к уравнению в области временного аргумента. В случае, когда $p = \alpha + \beta i$, это соответствует заданию уравнения в рамках преобразования Лапласа при условии нулевых начальных значений.

Передаточная функция $W(P)$, демонстрирует взаимосвязь между выходным сигналом и входным сигналом в виброактивной системе. Она отражает динамические характеристики системы и позволяет изучить ее поведение при различных входных условиях:

$$W(p) = \frac{x_i}{x(p)} = \frac{cp+k}{mp^2+cp+k}, \quad (3)$$

Этот способ представления передаточной функции занимает ключевое место, так как он охватывает различные режимы работы и содержит всю необходимую информацию для анализа системы в условиях воздействия внешних факторов. Для минимизации рисков, связанных с использованием виброактивных устройств, необходимо понимание передаточной функции.

Формула (3), описывающая передаточную функцию системы $W(P)$, позволяет применять методы и подходы структурного представления процессов, которые служат основой систем менеджмента качества. В этом контексте определяются входы и выходы процессов, ресурсы (персонал, инфраструктура и производственная среда), требования и удовлетворенность потребителей (рис. 9).

Понимание передаточной функции сыграло важную роль в эффективном уменьшении рисков, связанных с работой виброактивных грохотов. В целом, исследование и анализ передаточной функции являются основополагающими элементами изучения механического движения технологического оборудования, предоставляя критически важную информацию для успешного управления системой и снижения рисков, связанных с её эксплуатацией.

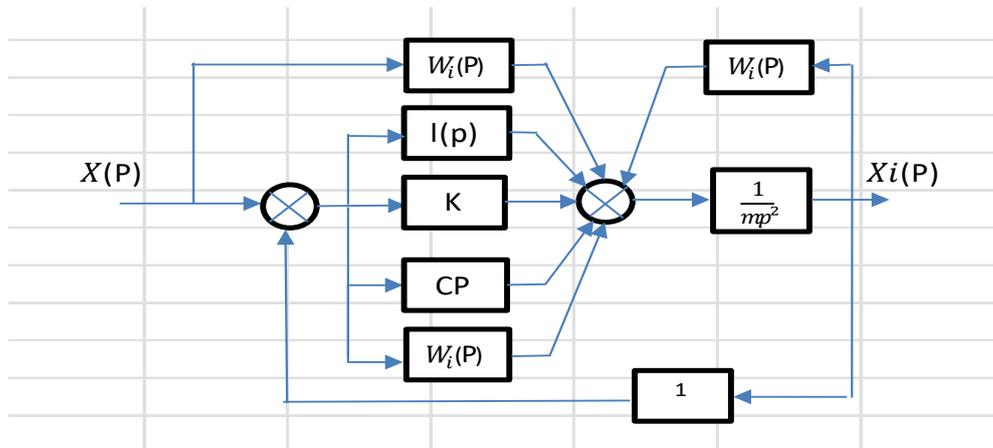


Рисунок 9 – Структурная схема - аналог процессного подхода СМК

Метод структурной интерпретации, также известный как структурная теория систем менеджмента качества, представляет собой эффективный инструмент для анализа характеристик технологических систем.

Таким образом, исполнительные механизмы управления грохотом могут быть активированы с использованием струйных, электродинамических или механических систем, в зависимости от выбранного принципа действия. Принцип работы и жесткость этих механизмов подлежат регулировке. В динамической системе грохота ключевую роль играет исполнительный механизм виброактивной системы, включающий датчики обратной связи, усилители и распределительные устройства, в процессе реализации модернизированного цикла Бойда Эти компоненты, работая в совокупности, обеспечивают результативное управление системой.

Датчики обратной связи предоставляют данные, обусловленные динамическим изменением параметров: от перепада давления и смещения до резкости, ускорения и колебаний мощности. Внедрение сетевидной системы управления и нового элемента обратной связи «Изменить», позволяет системе проявлять гибкость и адаптироваться к меняющимся условиям работы.

В результате исследования динамических систем технологического оборудования, в частности рассмотрения грохотов, в рамках замкнутых автоматических систем управления, была оценена роль обратной связи в характеристиках предложенной системы. Предложенный подход позволяет диагностировать влияние дополнительных звеньев и соединений на объект управления в динамической системе грохота, что, в свою очередь, способствует увеличению ресурса оборудования за счет снижения вероятности его технического износа. При анализе низкочастотной области передаточная функция $W_p(P)$ управляемого устройства может быть представлена в виде модели канала связи первого порядка общего вида. В заключительной части четвертой главы представлены результаты исследований, посвященные определению методов управления и снижению риска технического износа оборудования, основанные на анализе передаточной функции $W(P)$ с использованием различных законов управления с обратной связью:

$$W_p(P) = \frac{d_0 + d_1 P}{e_0 + e_1 P}, \quad (4)$$

Управление рисками на Мирнинско-Нюрбинском ГОКе АК «АЛРОСА» включает в себя их анализ и минимизацию рискованных событий, что определяется функцией параметров, входящих в формулу (4). Этот процесс осуществляется с помощью предлагаемого алгоритма управления технологическим процессом, который соответствует системе менеджмента качества. Следует подчеркнуть, что принципы управления динамическими системами технологического оборудования, включая передаточную функцию, имеют разные свойства в зависимости от определенных значений параметров d_i и e_i .

1. Реализация пропорционального управления процессом грохота, интегрированная в систему управления качеством и регулируемая абсолютным отклонением при перемещении материальных точек в процессе работы оборудования, определяется обратной связью системы с соответствующей формой передаточной функции:

$$W_p(P) = \frac{d_0}{e_0}, \quad (5)$$

2. Аперидичное управление, в отличие рассмотренного выше случая, характеризуется пропорциональной зависимостью между перемещением объекта управления и действующих в параллельной цепи перемещением и скоростью распределительного устройства $T_a \dot{X}_p + X_p = KX_1$, или в операторной форме $W_p(P) = \frac{K_a}{T_a P + 1} = \frac{d_0}{e_0 + e_1 P}$

Анализ работы системы при воздействии вибраций грохота предоставляет возможность оценить эффективность используемых управленческих закономерностей. Эти данные помогли определить, как система реагирует на внешние факторы и какие меры необходимо принять для повышения её производительности. Опираясь на собранные данные Мирнинско-Нюрбинского горно-обогатительного комбината АК «АЛРОСА», были выработаны рекомендации по формированию стратегий управления и снижению рисков.

При этом указанные выше паспортные данные текущего, среднего и капитального ремонтов в части времени межремонтной эксплуатации возможно увеличить на 20-25 %, что и приводит к ожидаемому экономическому эффекту до 1,3 млн. руб. в год.

Согласно «Техническому описанию и руководству по эксплуатации» технологического оборудования грохота вибрационного ГИЛ 051, ГИЛ 052 можно сделать выводы: затраты на ремонты = потери от простоев + затраты на ремонты (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ затрат на ремонты и потери от простоя с различными подходами к ремонту

Показатель	Без системы текущего ремонта	С системой текущего ремонта	Экономический эффект
Затраты на средний ремонт	1000000 руб. каждые 5000 часов	300000 руб. каждые 7000 часов	700000 руб. каждые 10000 ч (70 руб/час)
Потери от простоев (износ)	500000 руб. в год	400000 руб. в год	100000 руб. в год
Потери от простоев (капремонт)	2400000 руб. каждые 11000 ч	2400000 руб. каждые 11000 ч	0 руб. в год
Затраты на текущий ремонт	0 руб.	60000 руб. в год	-60000 руб.
Итоговые затраты в год	≈3000000 руб.	≈2860000 руб.	≈1300000 руб.

Внедрение модернизированной сетцентрической системы управления с обратной связью «Изменить» обеспечивает значительную экономию средств за счет предотвращения дорогостоящих средних и капитальных ремонтов, а также сокращения простоев из-за поломок, что повышает ресурс технологического оборудования.

Достижение снижения рисков технического износа и увеличения ресурсов технологического оборудования обеспечивается за счет своевременной диагностики и управления вибрационным состоянием грохота в ходе реализации усовершенствованного цикла Бойда.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки исследования: дальнейшие исследования могут быть направлены на углубленное изучение практического применения модернизированной сетцентрической модели управления в разных отраслях производства и разработку адаптивных алгоритмов для учета непредвиденных событий.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Предложена эффективная система управления горно-обогатительными предприятиями на основе сетцентрического подхода в условиях быстрых изменений во внешней и внутренней среде. При решении задач получены основные научно-практические результаты:

1. Разработана модернизированная сетцентрическая модель управления организацией на основе цикла Бойда с новым элементом «Изменить», включающая в себя механизмы быстрого обмена информацией, децентрализованного принятия решений и координации действий, которая позволяет ускорить процесс принятия решений и повысить адаптивность управления в обогатительном производстве.

2. Сформулированы преимущества, заключающиеся в гибкости и скорости адаптации управления горно-обогатительного предприятия к изменениям и недостаткам, которые проявляются в сложности координации и взаимодействия, при анализе существующей системы менеджмента для сетцентрической модели управления, определяя ее внешние и внутренние факторы, существенные с точки зрения видения, целей, политики, миссии, стратегии и учета рисков.

3. Предложен модернизированный сетцентрический подход при реализации создания основных алгоритмов и методов корпоративных информационных систем управления на обогатительном предприятии, что определяет возможность улучшения координации между подразделениями, децентрализованность принятия решений, совершенствования процессов и увеличения ресурсов, а также адаптации к изменениям во внешней среде.

4. Определены основные принципы предлагаемого «корпоративного» сетевого подхода к управлению ресурсами в Мирнинско-Нюрбинском ГОКе АК «АЛРОСА» и ООО «Вектор»:

- разработан алгоритм корпоративной информационной системы для реализации сетцентрического управления ресурсами подразделения на Мирнинско-Нюрбинском ГОК АК

«АЛРОСА», что позволяет оперативно отслеживать состояние технологического оборудования, грохота, выявлять потенциальные проблемы до их возникновения и дает возможность системе обучаться на основе предыдущих ошибок и успехов, улучшая точность прогнозов с течением времени;

- сформулированы ключевые функции корпоративной информационной системы, центральным звеном которой является сетевая платформа, включают реакцию на событие, распределение ресурсов, планирование, оптимизацию ресурсов, мониторинг и контроль, согласование с пользователями, а также обучение из опыта. Эта система создана на уровне вертикального и горизонтального взаимодействия между подразделениями, а также стратегического и оперативного управления ресурсами предприятия;

- разработан модернизированный цикл работы типовой КИС для ООО «Вектор» и Мирнинско-Нюрбинский ГОК АК «АЛРОСА».

5. Разработан алгоритм управления рисками износа технологического оборудования (грохота) в обогащательном производстве в условиях реализации сетевых систем. Определены методы управления рисками технического износа оборудования, основанные на реализации законов управления, определенных передаточной функцией вида:

$$W_p(P) = \frac{d_0 + d_1 P}{e_0 + e_1 P}$$

Внедрена разработанная модель, а также алгоритм модернизированной сетевой системы управления и анализ рисков технологического оборудования:

- в систему менеджмента качества ООО «Вектор»;
- в систему менеджмента качества Мирнинско-Нюрбинский ГОК АК «АЛРОСА»;
- в учебный процесс при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Управление качеством».

СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах из Перечня ВАК РФ:

1. **Федотова, А.В.** Сетевая система менеджмента: трансформация управления при применении информационных технологий / **А.В. Федотова** // Качество и жизнь. - 2024. - № 3. - С. 33-37.

2. **Федотова, А.В.** Управление бизнес-процессами на обогащательном предприятии / **А.В. Федотова** // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2024. - № 9. - С. 129-134.

3. **Федотова, А.В.** Сетевая модель управления на базе корпоративной информационной системы / **А.В. Федотова**, П.А. Лонцих, М.В. Евлоева, Е.Ю. Головина, Н.П. Лонцих // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2024. - Т. 26. - № 4. - С. 124-130.

4. Лонцих, П.А. Диаграмма Парето как инструмент управления качеством для системы устойчивого развития / П.А. Лонцих, **А.В. Федотова**, М.В. Евлоева, Е.Ю. Головина, Н.П. Лонцих // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2024. - Т. 26. - № 4. - С. 118-123.

5. Лонцих, П.А. Модернизация сетевой концепции в обогащательном производстве / П.А. Лонцих, **А.В. Федотова**, Н.П. Лонцих, Е.Ю. Головина, М.В. Евлоева // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2024. - Т. 22. - № 4. - С. 152-162.

Публикации в изданиях, входящие в наукометрические базы данных SCOPUS и Web of Science:

6. Livshitz, I.I. Implementation of contemporary risk management standards for decision support system / I.I. Livshitz, P.A. Lontsikh, N.P. Lontsikh, E.Yu. Golovina, M.V. Evloeva, **A.V. Fedotova** // International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies». QM&TIS&IT. - 2024. - С. 65-67.

7. Livshitz, I.I. Methods of component IT-security risk assessment for IT critical

infrastructure entities / I.I. Livshitz, P.A. Lontsikh, N.P. Lontsikh, E.Yu. Golovina, M.V. Evloeva, **A.V. Fedotova** // International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies». QM&TIS&IT. - 2024. - С. 71-73.

Публикации в других изданиях:

8. Лонцих, П.А. Управление рисками на основе методов диакоптики при синтезе виброактивного оборудования высокотехнологичного предприятия / П.А. Лонцих, Н.П. Лонцих, Е.Ю. Головина, **А.В. Федотова** // Системы. Методы. Технологии. - 2023. - № 3 (59). - С. 38-45.

Подписано в печать 16.01.2025. Формат 60 х 90 / 16.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 1,25.
Тираж 100 экз. Зак. 93. Поз. плана 2н.

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83