

На правах рукописи



Сафонова Ольга Михайловна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ
ИНСТРУМЕНТОВ МОНИТОРИНГА ФАКТОРОВ РИСКА**

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: **Панюков Дмитрий Иванович**
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет», профессор
кафедры "Теоретическая и общая
электротехника" (г. Самара)

Газизулина Альбина Юсуповна
кандидат технических наук,
АНОО ВО «Научно-технологический
университет «Сириус», руководитель
отдела развития научной карьеры (г. Сочи)

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный
университет» (г. Тюмень)

Защита состоится «26» июня 2025 г. в 13-00 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 7 апреля 2025 года

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат экономических наук, доцент



Головина Елена Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современное управление промышленным предприятием сталкивается с рядом вызовов: глобальная конкуренция, ускорение темпов производства технологической продукции, необходимость быстрого реагирования на запросы заказчиков и др. Все перечисленное создает непредсказуемую управленческую среду для предприятий. В таких условиях необходимо мышление, ориентированное на оценку и управление рисками, что предполагает стандарт ISO 9001:2015 «Системы менеджмента качества. Требования».

Во-первых, современное производство сталкивается со множеством проблем, включая экономические, технологические, экологические и социальные риски. При этом, быстрое развитие передовых технологий (роботизированные системы, системы обработки больших объемов данных, цифровые технологии, искусственный интеллект) дает новые вызовы для промышленных отраслей в целом. Результативное управление рисками становится необходимым условием для обеспечения устойчивости и конкурентоспособности предприятия (в частности машиностроительных и нефтехимических производств).

Во-вторых, в условиях жесткой конкуренции и ограниченных ресурсов машиностроительные и нефтехимические предприятия должны оптимизировать свои процессы и минимизировать потери. Совершенствование методов управления рисками позволяет выявлять потенциальные угрозы и снижать их влияние на производственные показатели, что, в свою очередь, способствует повышению общей результативности предприятия.

Третий аспект, связанный с риск-подходом - это инновации и технологическое развитие. Инновационные подходы к управлению рисками помогают предприятиям эффективнее интегрировать новые технологии в производство, минимизируя при этом возможные негативные последствия.

Актуальным остается и соответствие деятельности предприятий стандартам системы менеджмента качества (СМК). Необходимо также согласование современных высокотехнологичных производств стандартам качества и безопасности. Эффективные методы управления рисками помогают не только соблюдать эти требования, но и улучшать имидж организации на рынке сертифицированных товаров и услуг.

Практическое применение результатов диссертационной работы позволило начать исследование по формированию систематизированной и структурированной базы знаний по видам рисков предприятий машиностроительных и нефтехимических производств в процессе диверсификации с применением методов СМК, а также интеграцию лучших практик международных и отраслевых стандартов, что приводит к преобразованию систем управления рисками промышленного предприятия и СМК в целом.

Таким образом, совершенствование практик управления риск-менеджментом видится современной и актуальной задачей, которая является инструментом, повышающим устойчивость развития предприятия, а также результативность его работы и способность адаптироваться к колебаниям внешней среды без потерь либо с минимальными потерями.

Степень разработанности темы исследования. Теоретической базой исследования являются работы, посвященные аспектам управления качеством продукции и услуг, а также стандартизации и организации производства таких отечественных и зарубежных ученых, как В.Н. Азаров, Г.Г. Азгальдов, Э. Деминг, У. Детмер, Д. Джуран, К. Исикава, А. Фейгенбаум и др.

Работа основана на результатах и экспериментальных исследований ученых в области риск-ориентированных подходов к СМК, таких как Р. Баззел, И.А. Бланк, Р. Галлахер, Д. Кокс, Д. Купер, И.И. Лившиц, В. Лоуренс, П. Мур, Ф. Найт, В. и др.

Задачи предприятий в контексте управления рисками промышленных предприятий, а также создание системы риск-менеджмента отражается в работах таких отечественных ученых, как: В.А. Гранатурова, А.Б. Дагаева, Р.М. Качалов, И.Я. Лукасевич, Д.А. Марцынковский, С.А. Одинокоев, Н. Ю. Омарова, Б.А. Райзберг, А.С. Шапкин, С.Ю. Янова и др.

Все вышеперечисленные исследователи внесли значительный вклад в разработку подходов для анализа воздействия рисков на СМК в контексте машиностроительной и нефтехимической отраслей. Их исследования создают основу для разработки комплексных подходов и методов, которые рассматривают различные аспекты управления рисками и их влияние на деятельность компаний.

Однако, до настоящего времени остаются недостаточно разработанными вопросы оценки рисков с учетом новых внешних факторов современного мирового рынка, полностью удовлетворяющих и опережающих риски машиностроительных и нефтехимических предприятий. А именно: недостаточно разработаны факторы рисков и неопределенности, методы совершенствования систем управления и контроля качества в процессе диверсификации с помощью статистических инструментов СМК; не в полном объеме проработаны интегративные подходы к управлению рисками с учетом особенностей предприятий.

Исходя из вышесказанного, необходимо усовершенствовать систему управления рисками промышленных производств для повышения результативности управления предприятием в целом и организации производства.

Объектом исследования является система управления рисками промышленных предприятий.

Предмет исследования – методы и инструменты риск-менеджмента.

Цель исследования состоит в совершенствовании системы менеджмента качества на нефтехимических и машиностроительных предприятиях посредством управления факторами рисков.

Достижение поставленной цели работы обеспечивается путем постановки и решения следующих задач:

1. Провести анализ существующих отечественных и зарубежных методов управления рисками на нефтехимических и машиностроительных предприятиях, выявить их преимущества и недостатки.

2. Сформировать основные виды рисков в системе машиностроительного производства на основе многоуровневой иерархической структуры, выявить возможные дефекты технологического оборудования.

3. Разработать алгоритм управления рисками нефтехимического предприятия в условиях диверсификации производства с применением статистических методов менеджмента качества.

4. Сформировать алгоритм управления рисками на основе постоянных динамических инспекций для мониторинга параметров механизмов деградации технологических систем для последующей роботизации и автоматизации проверок оборудования.

5. Доказать универсальность применения полученных методов на рассматриваемых предприятиях, сформировав при этом конкретные методические рекомендации по управлению рисками.

Научная новизна

1. Предложен комплексный метод экспертного управления рисками на основе совместного использования базовых положений стандарта (ISO 31000:2018) и Международного стандарта (API), а также метода механизмов деградации технологических систем, включающий внедрение элементов цифровизации.

2. Предложена модель управления рисками для промышленных предприятий, основанная на методе расчленения вариативности возможностей, позволяющая снизить дискретные стратегические риски при одновременном снижении уровня непрерывной рыночной неопределенности.

3. Предложен новый подход к выбору объектов управленческой деятельности машиностроительного предприятия, основанный на обработке исходных данных с помощью метода анализа иерархий в комбинации с методом статистических испытаний Монте-Карло, позволяющий выбрать приоритетный вариант рассматриваемых объектов.

Теоретическая значимость работы заключается в совершенствовании подходов управления рисками как важной части стратегического развития промышленных предприятий и цифровых производственных технологий в целом, с использованием статистических инструментов системы менеджмента качества, а также сочетанием общепринятых международных и специализированных методов управления рисками для результативной деятельности предприятий машиностроительной и нефтехимической отраслей.

Практическая значимость работы

1. Разработан риск-ориентированный подход управления рисками нефтехимического предприятия, сочетающий методы расчленения вероятности возникновения риска с методом деградации, включающий положения стандартов серии ISO и API, а также проведение инспекций оборудования с учетом факторов технологических рисков.

2. Внедрен риск-ориентированный метод совершенствования СМК машиностроительного предприятия АО «Промтех-Иркутск» (г. Иркутск) в условиях диверсификации производства, заключающийся в переходе от дискретных моделей к их комбинации со стохастическими переменными с последующей оценкой с использованием метода дисконтирования и окончательной оценкой рисков с применением метода Монте-Карло. При минимизации рисков технологического оборудования на АО «Промтех-Иркутск», время межремонтной эксплуатации

увеличилось на 35 %, а риски, связанные с ошибками персонала, сократились в 2 раза.

3. Применен разработанный метод моделирования рисков на предприятии ООО «Иркутский завод полимеров» (г. Иркутск). В ходе валидации и верификации технологических процессов, выполненных тестовых запусков оборудования и пуско-наладочных работ, были оценены факторы риска, расчетные значения которых позволят увеличить время межремонтного интервала проектируемого технологического оборудования до 18-21 % в сравнении с паспортными характеристиками технологического оборудования.

4. Практическая значимость работы обоснована актами внедрений на промышленном предприятии АО «Промтех-Иркутск» и в учебный процесс ИР-НИТУ для обучающихся по направлению 27.03.02. Управление качеством.

Методы исследования. Для достижения поставленной в работе цели использовались следующие методы, модели и инструменты:

- статистические инструменты управления качеством, а именно диаграмма Парето, что способствовало распределению количества выявленных дефектов и несоответствий к рискам АО «Промтех-Иркутск»; также был использован инструмент матрицы рисков, использованный для оценки рисков ООО «Иркутский завод полимеров» (ООО «ИЗП»);

- математические модели расчета, такие как теория игр, метод анализа иерархий, критерий Лапласа, критерий Вальда и др., которые были задействованы в предварительной оценке рисков, а также в расчетах оптимальных направлений проектов;

- метод имитационного моделирования (метод Монте-Карло), который идентифицирует оценку рисков проектов, характеризующихся относительно низким уровнем стратегических рисков и относительно высокой рыночной неопределенностью;

- методы обработки больших данных, которые включают такие программы как «Invest», «Альт-Инвест», «Project Expert», матричный процессор EXCEL, позволяющие проводить инвестиционный анализ проектов, включая определение таких критических параметров, как точка безубыточности, анализ чувствительности.

Положения, выносимые на защиту

1. Авторская классификация рисков машиностроительного предприятия, основанная на инструменте иерархической структуры рисков, а также поэтапный механизм управления данными рисками.

2. Модель управления рисками, реализующая метод анализа иерархий в сочетании с методом статистических испытаний (Монте-Карло) на примере машиностроительного предприятия.

3. Реализация применения модифицированного интегрированного метода расчленения вероятности возникновения риска с учетом механизмов деградации для эффективного управления технологическими рисками изучаемых предприятий, посредством своевременного реагирования на изменения факторов, связанных с отказом, частичным или полным выходом из строя оборудования, разрушением оборудования, авариями.

4. Ранжирование проектов для машиностроительного предприятия с применением метода анализа иерархий по установленным дополнительным факторам рисков, используя парное сравнение проектов.

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. 7. Научные основы управления рисками и предотвращения несоответствий в технических и организационных системах;

– п. 22. Разработка методов и средств организации производства в условиях организационно-управленческих, технологических и технических рисков.

Достоверность результатов исследования подтверждается корректностью постановки цели и задач, верификацией и валидацией предложенных методов риск-менеджмента, алгоритмов и механизмов их реализации, применением выбранных математических и статистических методов исследования, согласованностью полученных теоретических и практических данных при внедрении предложенного подхода управления рисками на предприятии (машиностроительной и нефтехимической отраслей).

Конкретное личное участие автора в получении результатов научных исследований, изложенных в диссертации, заключается в результатах диссертационного исследования, представленных в положениях работы, выносимых на защиту, а также их практическое применение на нефтехимическом и машиностроительном предприятиях. В ходе работы автор четко определила цель и соответствующие задачи исследования. Посредством инструмента иерархичной структуры рисков составлена авторская классификация рисков машиностроительного предприятия АО «Промтех-Иркутск» с поэтапным механизмом управления данными рисками, на основе которых предложена схема отбора направлений (проектов) машиностроительного предприятия в процессе диверсификации с целью снижения уровня рассматриваемых рисков. Соискатель подтвердила основные результаты исследования публикациями научных статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, а также докладами на международных и Всероссийских научно-практических конференциях. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: «Программа определения вероятности безотказной работы рассматриваемого объекта» № 2025612621/69 (2025 г.).

Апробация результатов. Апробация результатов диссертации проводилась на международных и Всероссийских научно-практических конференциях: Всероссийская научно-практическая конференция «Байкальская наука: идеи, инновации, инвестиции» (г. Иркутск, 2018 г.); 2019 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (2019 TIS&IT), (г. Санкт-Петербург, 2019 г.); 2020 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (2020 TIS&IT), (г. Ярославль, 2020 г.); XI Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов» (г. Иркутск,

2023 г.); 2023 Proceedings on Engineering Sciences (Сербия, 2023 г.); Всероссийская научно-практическая конференция «СМИС-2024. Технологии управления качеством» (г. Москва, 2024 г.).

Структура и объем работы. Диссертация имеет введение, четыре главы, заключение, список литературы, насчитывающий 103 источника, и 4 приложения. Работа содержит 28 таблиц и 21 рисунок. Общий объем – 161 страница.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследуемого вопроса, приведен анализ степени его разработанности, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель, задачи и основные положения, выносимые на защиту. Соответственно представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, а также личное участие автора работы.

В первой главе выполнен анализ отечественных и зарубежных методов, моделей и инструментов в задачах обеспечения риск-менеджмента. Проведен сравнительный анализ понятия «риск», трактованный различными исследователями с учетом подходов СМК. Было установлено, что поэтапно разработанная система риск-менеджмента является одним из наиболее оптимальных способов повышения качества и улучшения результативности почти всех бизнес-процессов любого промышленного предприятия.

Выявлены взаимосвязи рисков и процессов СМК. Для более детального рассмотрения и дальнейшего анализа рисков в СМК предложена их классификация на основе ключевых процессов в СМК. Объединив риски в единую классификацию, был выполнен их анализ и оценка возможности оказания ими влияния на ход определенного процесса СМК.

Стратегия диверсификации производства рассмотрена как метод организации управления рисками малого машиностроительного высокотехнологичного производства. Определено, что диверсификация производства представляет собой организационное единство методов организации производства и снижения рисков хозяйственной деятельности предприятий. Диверсификация в предложенном исследовании рассматривается, прежде всего, как форма организации производства (как стратегия, имеющая проектное содержание).

Полученные данные по результатам литературного обзора позволили подтвердить актуальность исследования, определить научную задачу и сформировать дальнейшие направления ее решения.

Во второй главе проанализированы методы управления рисками и предложены способы их практического усовершенствования на высокотехнологичном нефтехимическом предприятии. Анализ риска проведен с различной степенью детализации и сложности. Методики анализа выбирались как качественные, так и количественные, применен отечественный и зарубежный методический опыт.

В ходе управления рисками применен новый интегрированный метод проведения инспекций оборудования с учетом факторов технологических рисков на основе предложенного метода расчленения вероятности возникновения риска с

учетом механизмов деградации, учета требований стандарта серии API (американского стандарта) и международного стандарта серии ISO (31000:2018), способствующих принятию обоснованных управленческих решений и выбору путей митигации рисков.

Технологическое оборудование машиностроительного производства (станки, обрабатывающие комплексы и т.п.) в процессе работы совершают механические движения, которые могут быть представлены в виде дифференциального уравнения движения:

$$\begin{aligned} \Theta_i \dot{q} + G_i q_i &= \overline{1, m}, \\ q_i &= (x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, \dots, x_{n_i}^{(i)})^T, \\ H_i &= (h_1^{(i)}, h_2^{(i)}, \dots, h_{n_i}^{(i)})^T. \end{aligned} \quad (1)$$

где Θ_i , G_i , q_i , H_i – инерционная и упругая переменная; $n_i \times n_i$ – матрицы i -й подсистемы; n_i – мерные векторы обобщенных координат и возмущающих воздействий подсистемы; m – масса динамического объекта.

Рассматриваемая мегасистема состоит из подсистем, которые представлены уравнениями (1), в результате наложения на движение этих подсистем r линейных позиционных связей $f_j(x_k^{(i)}) = 0$, аналитически выражающих условия соединения отдельных частей подсистем.

Уравнения интегрируемых связей, отражающих условия кинематического соединения отдельных элементов, описаны в виде:

$$\frac{Df}{Dq} q = 0, \quad (2)$$

где q – сумма векторов q_i , $i = \overline{1, m}$; Df/Dq – матрица Якоби системы функций $f_j(x_k^{(i)})$, $j = \overline{1, r}$.

Технологические системы содержат в своем составе оборудование, совершающее механические движения, динамика которых описана на основе положений, предложенных выше. При этом, необходимо учитывать динамику сплошной среды, поскольку оборудование, подверженное риску, содержит пневмогидравлические элементы.

В итоге, за основу принимаем метод расчленения вероятности возникновения риска с учетом механизмов деградации для сложной, интегрированной системы, но в преломлении ее расчета через другую, более простую систему – аналога с известными данными. Технологическое оборудование, установленное на рассматриваемом предприятии предназначено для изготовления, монтажа и испытаний пневматических и гидравлических трубопроводов. Анализ риска таких систем предусматривает учет движения как механических систем, рассмотренного на основании дифференциальных уравнений, приведенных выше, так и движения сплошной среды. Анализ технологических рисков определил необходимость учета динамики такой среды, для чего нами было составлено уравнение неразрывности Бернулли.

Уравнение Бернулли составляем при условии, что за время Δt через сечение S проходит объем жидкости $Sv\Delta t$. Следовательно, за 1 с через S_i пройдет объем жидкости $S_i v_i$, где v_i – скорость течения жидкости в месте сечения S_i (рис.

1). Здесь предполагаем, что скорость жидкости в сечении постоянна. Если жидкость несжимаема ($\rho = \text{const}$), то через сечение S_2 пройдет такой же объем жидкости, как и через сечение S_1 , т.е. получаем:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = \text{const.} \quad (3)$$

В уравнении (3) предполагается, что произведение скорости потока несжимаемой жидкости на площадь поперечного сечения трубки тока является постоянной величиной для данной трубки тока. Данное уравнение представляет собой закон сохранения массы для несжимаемой жидкости. Это уравнение является

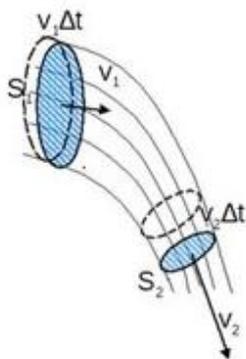


Рисунок 1 – Схема движения потока жидкости

первым основным уравнением гидродинамики. Управление рисками реализовано путем проведения инспекций технологического оборудования с учетом установленных и имеющих значение факторов риска, целью которых является получение информации об изменении технического состояния и тенденций уровня риска безопасной эксплуатации оборудования. Было выявлено, что описанный процесс проведения инспекции влияет на качество и сроки выпускаемой высокотехнологичной продукции в связи с мало прогнозируемым износом, отказами, внеплановыми остановками технологического оборудования.

Учитываемые факторы риска при проведении подобных инспекций в данном подходе являются механизмами деградации оборудования (МД).

Рассмотрена оценка рисков на нефтехимическом предприятии ООО «ИЗП». Завод планируют к вводу в эксплуатацию в ближайшее время. При этом, в течение уже продолжительного времени на заводе действует трубное хозяйство, связанное с газоперерабатывающим заводом (ООО «Усть-Кутский газоперерабатывающий завод»), где был проведен анализ технологических рисков появления коррозии оборудования в агрессивной среде. Кроме того, на ООО «ИЗП» действует отделение хозяйства водоподготовки, оборудование которого подвержено риску отложения солей, выявленному нами в ходе инспекций, из-за процесса окислительной коррозии технологического оборудования в результате использования речной воды.

При проведении инспектирования технологического оборудования в ходе расконсервации и тестирования пуско-наладочных работ на ООО «ИЗП» был применен перечень факторов риска МД технологического оборудования, которые приводят к несвоевременному износу или выходу из строя, влияя этим на сроки и качество выпускаемой продукции, вплоть до остановки производства. Учитывая данные МД, был выполнен анализ вероятности отказа оборудования (в соответствии со стандартом API 581), что позволило:

- составить прогноз вероятностей отказа и, тем самым, предостеречь от потенциальных отказов (что способствовало уменьшению вероятности отказа, тем самым уменьшению рисков);

- определить соответствующие интервалы/сроки проведения технического освидетельствования (осмотра) оборудования, точек контроля и используемых методов проверки оборудования;

- обосновать принятие решений, направленных на внедрение мероприятий, исключающих или снижающих вероятность возникновения конкретного МД;

- выполнять немедленный останов оборудования при обнаружении критических параметров, выходящих за установленные нормативные показатели.

Далее нами были изложены принципы работы проведения инспекций с учетом факторов риска (ИУФР) ООО «ИЗП». На данном предприятии была проведена инспекция технологического оборудования и составлен план его защиты от МД с соответствующими мероприятиями по снижению рисков, вызванных в том числе данными МД. Оборудование было разделено на схематические блоки: непосредственно на оборудование и трубопроводы (на так называемые контуры коррозии (КК), подверженные аналогичным механизмам разрушения). Также были определены окна технической целостности (ОТЦ) - параметры со значениями от минимальных до максимально допустимых коррозионных процессов, которые оказывают влияние на скорость разрушения оборудования (рис. 2).

Важно, что модель инспекции не содержит рекомендаций по учету мер контроля и мониторинга, что, в свою очередь, послужило импульсом к автоматизации контроля соблюдения выбранных параметров и заданной частоты работы оборудования. Было принято решение установить систему круглосуточного мониторинга одного из МД на примере процесса коррозии технологического оборудования. Система включает в себя «виртуальные» датчики, работающие по математическим моделям, производящим расчет математической скорости коррозии.

Данные «виртуальные» датчики помогут отслеживать параметры, влияющие на коррозионную активность в технологическом оборудовании с выводом на мониторы дежурных операторов.

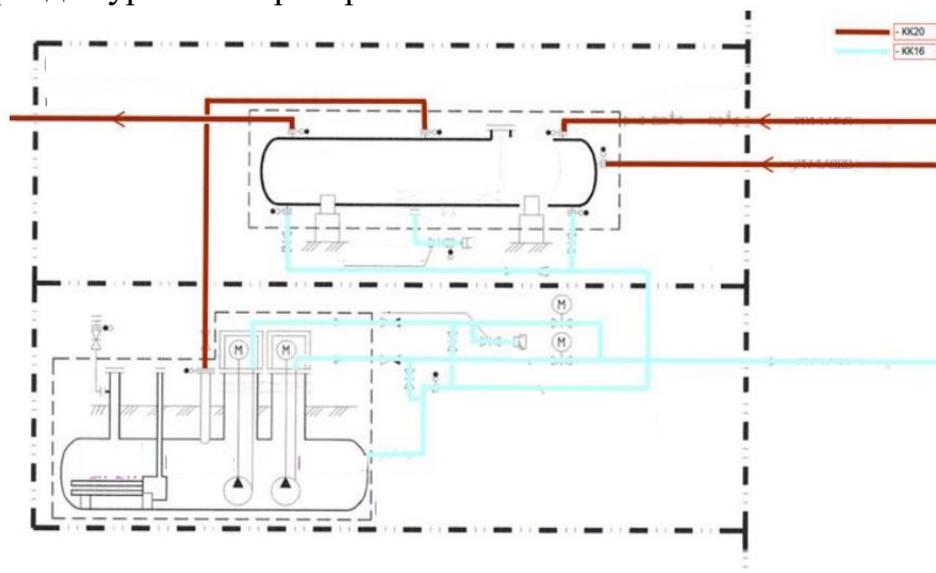


Рисунок 2 – Пример обозначения контуров коррозии на технологической схеме пилотного объекта на ООО «Иркутский завод полимеров»

Получена модель «динамической» (выполняемой в начале и на протяжении всего производства работ) виртуальной инспекции оборудования с учетом факторов рисков, способствующей мгновенному предупреждающему реагированию на риски возможных нарушений целостности оборудования. На схеме (рис. 3) смоделирован принцип работы данной системы в виде глобальной информационной системы (ИС) ИУФР.

По факту отклонения показателя действующих механизмов деградации от нормального значения предложено формировать предупреждения о нарушении. Сообщение об отклонении параметра автоматически отправляется на почту ответственным специалистам в соответствии со списком рассылки. По полученной информации принимается решение о применении мер реагирования. Информация об указанных мероприятиях поступает в программу, производится пересчет показателей деградации. На этом завершается очередной цикл бизнес-процесса и начинается новый круг.

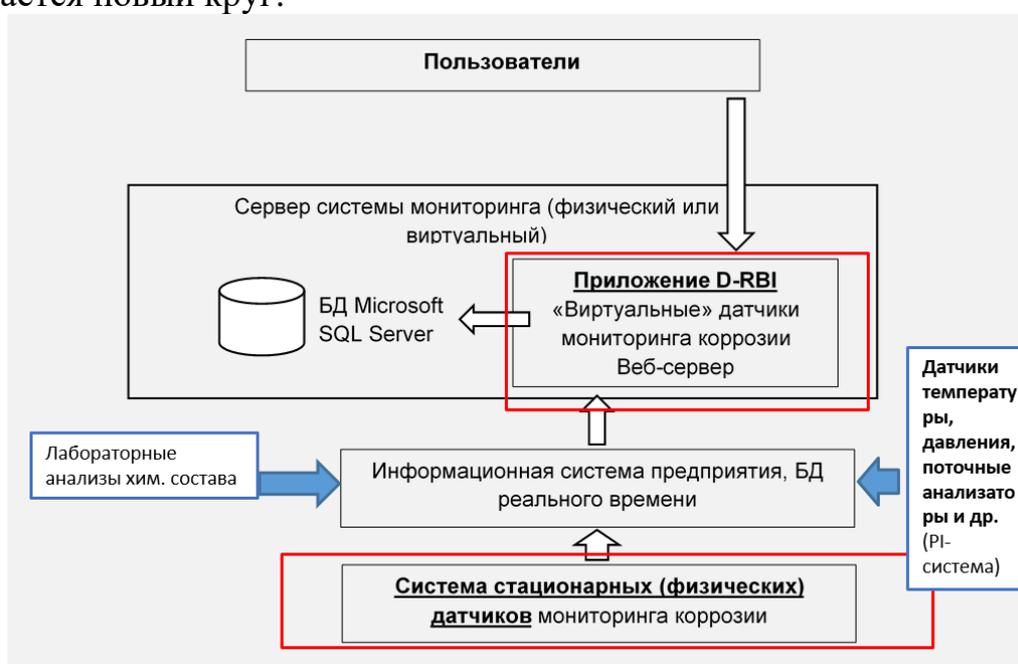


Рисунок 3 – Схема моделирования инспекций с учетом факторов риска

Так, при переходе от динамической ИУФР к динамической модели управления рисками применение метода расчленения вероятности возникновения риска с учетом механизмов деградации видится наиболее оптимальным и эффективным путем совершенствования имеющихся методов экспертной оценки для управления рисками, связанными с процессами управления оборудованием на промышленных предприятиях.

В третьей главе описано моделирование рисков в процессе диверсификации производства как одного из эффективных способов снижения рисков на машиностроительном предприятии авиационного кластера, которое обеспечивает «якорные предприятия» - заказчиков комплектующими. Процесс диверсификации работает по методу расчленения вероятности возникновения риска с разложением набора предложенных проектов и отбором приоритетных на основе их сопоставления по заданным параметрам.

Для предприятия АО «Промтех-Иркутск» рассмотрены следующие направления, связанные с диверсификацией производства, ориентированной на обеспечение потребностей «якорных» для него заказчиков (ПАО «Яковлев» и АО «Улан-Удэнский авиационный завод»), а также внешних заказчиков:

- использование в трубогибочном производстве современных автоматизированных универсальных станков;
- производство 3D-изделий различного профиля для производства технологической оснастки и инструмента (из металлических материалов);
- сборка беспилотных летательных аппаратов;
- производство электронных узлов на заказных печатных платах с применением автоматизированных сборочных комплексов.

Полагая, что по мере анализа инвестиционного проекта (пакета проектов) происходит некоторое снижение степени риска, предложена следующая последовательность моделей оценки рисков:

- оценка уровня рисков инвестиционных проектов на основе идентифицированных факторов риска, определение уровня надежности проектов и их предварительное ранжирование;
- определение последовательности приоритетов проектов методом теории игр, на основе предположения об общем высоком уровне стратегических рисков. На данном этапе произведена «отбраковка» наиболее рискованных проектов;
- ранжирование проектов с применением метода анализа иерархий. Ранжирование производится по установленным дополнительным факторам рисков, используя парное сравнение проектов. В результате каждому проекту присваивается математическое ожидание достоверности его реализации в рассматриваемом ряду альтернатив;
- уточнение последовательности приоритетов проектов с использованием метода анализа иерархий в комбинации с методом статистических испытаний Монте-Карло. Экспертные оценки значений факторов риска одновременно корректируются на изменяемый случайным образом коэффициент, расширяющий девиацию оценок, что позволяет оценить вероятность смены членов в ранжированном ряду. Результатом оценок является дополнительная «отбраковка» наиболее рискованных проектов (с наиболее высоким уровнем неопределенности);
- проведение предварительной оценки эффективности приоритетных инвестиционных проектов с использованием известных пакетов прикладных программ («Invest», «Альт-Инвест», «Project Expert», матричный процессор EXCEL), позволяющих также провести анализ проектов на устойчивость и чувствительность по факторам;
- оценка рисков проектов с относительно низким уровнем стратегических рисков и относительно высокой неопределенностью с использованием метода Монте-Карло.

Предложенная последовательность моделей оценки рисков отражена в табл. 1.

Таблица 1 – Модели оценки рисков

Виды риска и методы оценки стоимости		
Стратегические риски (в т.ч. стратегические решения)	Непрерывная (в т.ч. рыночная) неопределенность	
	Низкая	Высокая
Высокие	1. Метод дерева принятия решений	3. Оценка по методам реальных опционов
Низкие	2. Метод дисконтирования денежных потоков	4. Метод Монте-Карло

Нами выполнена сравнительная оценка трех (из первоначальных четырех) проектов, используя известный алгоритм метода анализа иерархий (МАИ), который строится на основе экспертных оценок и имеет определенные этапы:

- формирование множества альтернатив для последующего выбора оптимального решения;

- выбор спектра критериев, которые способствуют оценке упомянутых выше альтернатив;

- для количественной оценки относительной важности критериев предложена 9-бальная шкала (1 – равная значимость, 3 – средняя степень превосходства, 5 – умеренно сильное превосходство, 7 – весьма значительное превосходство, до 9 – абсолютное превосходство и 2, 4, 6, 8 – соответствующие промежуточные значения);

- для анализа достоверности представленных исходных параметров рассчитан индекс согласованности (ИС);

- формирование матриц попарных сравнений альтернатив по каждому из параметров. Для матриц разрабатывается показатель согласованности, ИС и относительная согласованность;

- финальное решение включает в себя стандартную таблицу альтернативных оценок для каждого параметра, а также вес этого параметра. После получения всех данных, включая оценочные, получен балльный показатель, который определяет рейтинг альтернатив выбранной задачи. Наилучшим вариантом из имеющихся проектов будет проект, получивший самый высокий балл (по МАИ).

Проведенные расчеты в среде матричного процессора EXCEL позволили получить следующие результаты (табл. 2): проект № 1 получил математическое ожидание реализации в рассматриваемом ряду 51,4 %, проект № 2 – 26,9 %, проект № 3 – 21,7 %.

Таблица 2 – Результаты по приоритетности проектов

	X1	X2	X3	X4	МО
K1	0,524	0,379	0,573	0,578	0,5135
K2	0,134	0,331	0,347	0,263	0,26875
K3	0,342	0,289	0,079	0,159	0,21725

Проведение оценки проектов с использованием комбинированного метода анализа иерархий и Монте-Карло

Полученные на предыдущем этапе экспертные оценки и результаты попарных сравнений подвергаются девиации в некоторых пределах с целью выяснения устойчивости полученных значений компонентов ранжированного ряда. Для обеспечения возможности варьирования полученных экспертных оценок использовался «плавающий» стохастический множитель (коэффициент вариации), определяющий разброс значений экспертных оценок в 10 % как в сторону увеличения, так и уменьшения. С этой целью применен генератор случайных чисел EXCEL.

Далее, отобрав проекты с относительно низкими показателями эффективности (а, следовательно, и рискованности), был проведен завершающий этап оценки, заключающийся в определении вероятности получения отрицательного значения NPV по каждому из определенных как перспективные первым двум проектам.

Имитационный анализ проекта № 1 (трубогибочные услуги)

По результатам имитационных расчетов, допустив, исходя из статистики производства рассматриваемого предприятия за предыдущие 3-5 лет, что количество продукции уменьшится на 40 %, цена – на 40 %, переменные затраты составляет половину цены. Как и при анализе с применением постоянных (не стохастических) значений параметров проектов, основным фактором, влияющим на величину суммы дисконтированных значений потока платежей (NPV) является выручка от продаж. При указанных изменениях вероятность того, что NPV проекта примет отрицательное значение, составляет 27 %.

Имитационный анализ проекта № 2 (3D-принтеры)

При снижении объема продукции на 40% и снижении цены на 40 % из 500 случаев генерации отрицательное значение NPV наблюдается в 402 случаях (80 %), что свидетельствует о сравнительно меньшей надежности проекта № 2.

При тех же вариациях цены и объемов производства, что и в трубогибочном производстве, отрицательное значение NPV наблюдалось в 35 % случаев.

Таким образом, направление (проект) диверсификации, связанный с развитием трубогибочного производства на АО «Промтех-Иркутск», следует признать приоритетным.

В четвертой главе предложена подробная трехуровневая классификация рисков на предприятии АО «Промтех-Иркутск» на основе такого инструмента, как RISK BREAKDOWN STRUCTURE (иерархическая структура рисков), что позволило провести разделение рисков по видам (а также подвидам), так как это структурирует проблемы и оказывает влияние на анализ и выбор методик управления, учитывая фактор неопределенности. Далее проанализированы дефекты (несоответствия), которые наблюдались в АО «Промтех-Иркутск» за 2024 г., и сопоставлены с данной структурой рисков. Для выявления причин несоответствий и рассматриваемых рисков была построена диаграмма Парето, содержащая кумулятивную функцию распределения (рис. 4).

В результате проведенного анализа было установлено, что более 80 % дефектов и несоответствий работы оборудования АО «Промтех-Иркутск» относятся к индивидуальным человеческим рискам, а также рискам, связанным с некорректной работой оборудования, вызванной высоким уровнем вибрации станков, а также риском покупки оборудования (комплектующих) низкого качества.

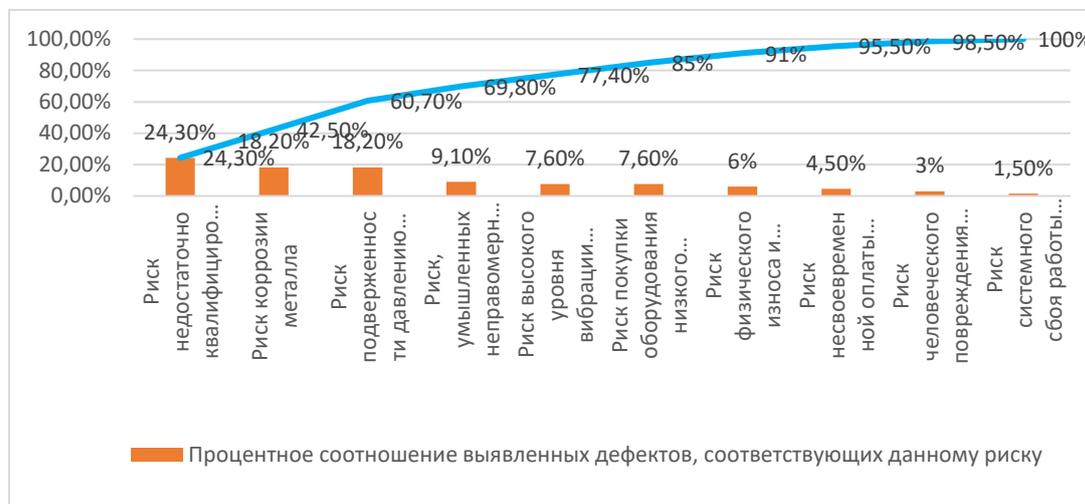


Рисунок 4 – Диаграмма Парето по распределению количества выявленных дефектов оборудования АО «Промтех-Иркутск», относящихся к рискам 3 уровня

Для снижения ошибок, связанных с индивидуальными человеческими рисками в компании АО «Промтех-Иркутск» разработан комплекс мероприятий, включающий технологию подбора персонала для различных вакансий, систему обучения сотрудников и корпоративные мероприятия, направленные на своевременное реагирование на ошибки. Внедренный комплекс мероприятий позволил сократить имеющиеся 80 % дефектов до 40 %.

Во второй части главы приведены результаты практического использования метода оценки механизмов деградации на пилотном объекте ООО «ИЗП». Экспертной группой был выбран один из механизмов деградации - коррозия. Общий порядок управления рисками был осуществлен через проведение риск-сессии в течение первого и второго кварталов 2024 г. На подготовительном этапе были собраны все необходимые данные по коррозии, а также составлена классификация диапазонов ОТЦ с параметрами, представленными в табл. 3.

В ходе контролируемого периода (май-декабрь 2024 г.) отмечен регулярный выход за допустимые границы параметров иона Cl^- (на одном из участков), O_2 , H_2S , массовой доли механических примесей, что свидетельствует об устойчивых разрушениях, тенденциях к реализации рисков выхода из строя (поломок) и необходимости принятия соответствующих мер управления. Результаты мониторинга и контроля вычисляются по стандарту API 581 и охватывают такие параметры, как площадь повреждения, стоимость ремонта, потери от простоя, угроза жизни и здоровью людей, экологический ущерб.

С учетом всех данных в рамках работы был разработан план защиты от коррозии по проверке и техобслуживанию элементов оборудования, подверженных риску возникновения коррозии с учетом вероятности и последствий отказа для пилотного объекта. Вероятность отказа зависит от ряда факторов, включая рабочую температуру, время, тип изоляции, покрытие, конфигурацию оборудования и доступ для влаги.

Таблица 3 – Значения ОТЦ для выбранных параметров

№ п/п	Параметр	Значение ОТЦ (оптимальный диапазон)
1.	pH	7-10
2.	Cl ⁻ (объект 1), мг/дм ³	0
3.	Cl ⁻ (объект 2), мг/дм ³	0-100
4.	O ₂ , мол. %	0
5.	CO ₂ , мол. %	0-0,04
6.	H ₂ S, мг/м ³	0
7.	Массовая доля механических примесей, %	0-100

Оценка вероятности отказа (табл. 4) проведена совместно с экспертом защиты от коррозии по методике стандарта API RP 581 (описывает количественный подход к внедрению инспектирования с учетом риска). Балльная система использована как эффективный полуколичественный подход для оценки вклада каждого фактора в общую вероятность отказа.

Таблица 4 – Диапазоны значений категорий вероятности отказа (в соответствии с API 581)

Категория	Название	Диапазон вероятности (отказов в год)
5	Очень высокая	$P_f(t, I_E) > 3,06 I_E^{-02}$
4	Высокая	$3,06 E^{-03} < P_f(t, I_E) \leq 3,06 I_E^{-02}$
3	Средняя	$3,06 E^{-04} < P_f(t, I_E) \leq 3,06 I_E^{-03}$
2	Низкая	$3,06 E^{-05} < P_f(t, I_E) \leq 3,06 I_E^{-04}$
1	Очень низкая	$P_f(t, I_E) \leq 3,06 I_E^{-05}$

где $P_f(t, I_E)$ – вероятность отказа как функция от времени и эффективности инспекции, отказов в год, t – время, ч, I_E – эффективность инспекций.

Рассмотрим, в качестве примера, оценку вероятности отказа по предложенной модели на примере КК11 Модификатор RO (N₂+O₂) потоки от станций хранения баллонов модификатора RO к реактору 2C14 через трубку DN 3, с учетом наблюдений 2024 г. за параметрами коррозии.

$P_f(t, I_E)$ – вероятность отказа как функция от времени и эффективности инспекции, отказов в год.

2 отказа/1056 ч = 0,002, где t – 1056 ч, I_E – 2 отказа.

По результатам расчета и при сравнении с литературными данными по зоне последствий и денежным затратам делаем вывод об очень низком диапазоне значений категории вероятности отказа на данном контуре, незначительных его последствиях (рис. 5) в случае реализации.

Вероятность отказа зависит от ряда факторов, включая рабочую температуру, время, поверхность металла, конфигурацию оборудования и доступ для влаги. Оценка вероятности отказа проведена совместно с экспертом защиты от

коррозии по методике API RP 581 и описывает количественный подход к внедрению инспектирования с учетом риска. Балльная система использована как эффективный полуколичественный подход для оценки вклада каждого фактора в общую вероятность отказа оборудования.

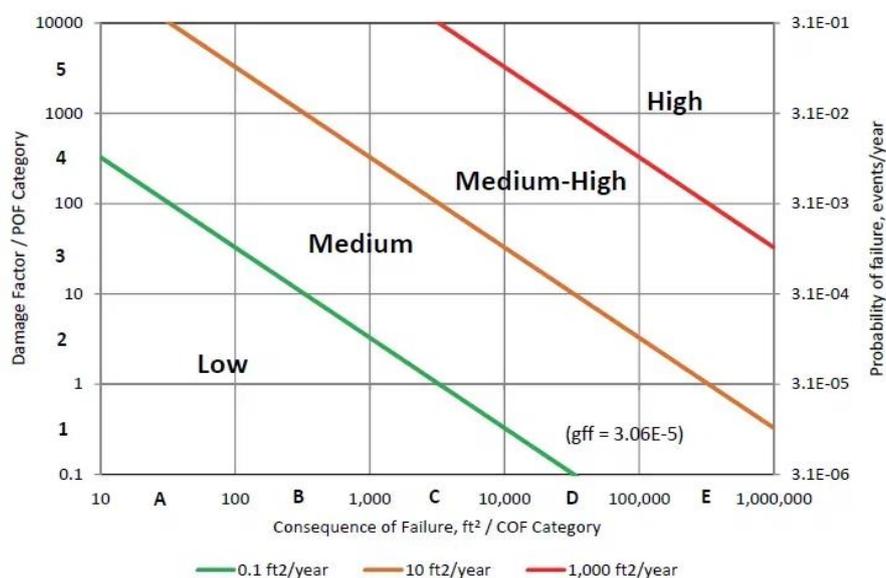


Рисунок 5 – Матрица риска для зоны последствий

Изучив и апробировав описанные практики расчета вероятностей отказа технологического оборудования трубного хозяйства и цехов водоподготовки ООО «ИЗП», был сделан вывод о преимуществах управления рисками на основе постоянных динамических инспекций для мониторинга параметров механизмов деградации, а именно:

- «прозрачный» процесс управления коррозией за счет динамической инспекции технологического оборудования;
- отслеживание технических параметров деградации, влияющих на коррозионную активность металлсодержащих элементов технологического оборудования;
- своевременные решения для снижения скорости коррозии и удержания риска разгерметизации на уровне, не превышающем допустимых границ;
- обоснованный подход к планированию капитальных ремонтов;
- развитие инспекционных циклов - установления регулярности проведения ИУФР;
- уменьшение затрат, связанных с остановками производства и потерей продукции и за счет этого получение экономического эффекта.

Таким образом, примененная на предприятии модель проведения инспекций с учетом факторов рисков позволила нам ранжировать оборудование по критичности за счет его «деления» на коррозионные контуры, оценить риски на момент проведения инспекций, выполнить прогнозирование технического состояния оборудования и рисков на заданный интервал времени в будущем. Использование модели «виртуальной» инспекции оборудования дало возможность оценить эффективность планов технического обслуживания.

В свою очередь, переход от динамического ИУФР к динамической модели управления рисками, применение предупредительных подходов управления механизмами деградации и метод расчленения вероятности возникновения риска - оптимальный и эффективный путь совершенствования имеющихся методов экспертной оценки для управления рисками, связанными с процессами управления оборудованием на промышленных предприятиях.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки исследования: дальнейшие исследования могут быть направлены на углубленное изучение алгоритма управления рисками промышленных предприятий различных отраслей в условиях диверсификации производства с применением статистических методов менеджмента качества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования решена важная научно-техническая задача и достигнута цель диссертационного исследования по совершенствованию системы управления промышленными предприятиями, заключающаяся в разработке метода управления факторами риска.

В процессе решения поставленных в диссертационной работе задач получены следующие научно-практические результаты.

1. Проведен подробный анализ отечественных и зарубежных методов и алгоритмов управления рисками на нефтехимических и машиностроительных предприятиях, выявлены их преимущества и недостатки.

2. Сформирована трехуровневая классификация рисков с применением такого инструмента, как иерархическая структура рисков, что позволяет предприятию в дальнейшем совершенствовать риск-менеджмент предприятия. На АО «Промтех-Иркутск» разработан комплекс мероприятий по снижению данных рисков, результат которого сокращает имеющиеся 32 % дефектов оборудования до 24 %, а также снижение в 2 раза ошибок, связанных с индивидуальными человеческими рисками (имеется акт внедрения).

3. Предложен метод экспертного управления рисками на основе расчленения вероятности возникновения риска с учетом механизмов деградации, приводящих к отказам или ухудшению состояния технологического оборудования, включая своевременное реагирование, за счет динамического мониторинга изменения основных факторов, приводящих к реализации риска. На ООО «Иркутский завод полимеров» при выполнении тестовых запусков оборудования и пуско-наладочных работ были оценены факторы риска, значения которых позволили увеличить время межремонтного интервала технологического оборудования до 18-21 %.

4. Предложена следующая схема отбора направлений проектов для АО «Промтех-Иркутск» в процессе диверсификации с целью снижения уровня рисков на основе учета рисков факторов:

- этап первичной оценки уровня рискованности проектов, а также определение уровня надежности данных проектов и их предварительное ранжирование;

- этап определения последовательности приоритетов проектов методом теории игр (игры с природой), на основе предположения об общем высоком уровне стратегических рисков;
- этап ранжирования проектов с применением метода анализа иерархий;
- этап уточнения последовательности приоритетов проектов с использованием метода анализа иерархий в комбинации с методом статистических испытаний Монте-Карло;
- этап проведения предварительной оценки эффективности приоритетных инвестиционных проектов с использованием пакетов прикладных программ;
- этап оценки рисков проектов с относительно низким уровнем стратегических рисков и относительно высокой рыночной неопределенностью с использованием метода Монте-Карло.

5. Разработан алгоритм управления рисками в условиях диверсификации производства с использованием метода анализа иерархий в сочетании с методом статистических испытаний (Монте-Карло). Сущность алгоритма заключается в применении расширяющего коэффициента к значениям экспертных оценок парных сравнений оцениваемых проектов по факторам риска, изменяющихся случайным образом в течение статистического испытания. Вероятность рисков технологического оборудования на АО «Промтех-Иркутск» снизилась на 35 %.

6. Доказана универсальность применения предложенного метода расчета рисков.

7. Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс ИРНИТУ при подготовке обучающихся по направлению «Управление качеством» (имеется акт внедрения в учебный процесс в ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»).

СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах из Перечня ВАК РФ:

1. Сафонова, О.М. Разработка математической модели управления рисками в системах информационной безопасности / О.М. Сафонова // Качество. Инновации. Образование. – 2024. – № 3 (191). – С. 63-69.
2. Пузовик, И.Н. Метод диакоптики и модель управления инспектированием оборудования на основе факторов риска для совершенствования экспертных подходов / И.Н. Пузовик, О.Г. Гусева, П.А. Лонцих, О.М. Сафонова, Н.П. Лонцих, А.Е. Пашков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 2. – С. 200-207.
3. Рогов, В.Ю. Моделирование рисков малого машиностроительного предприятия в процессе диверсификации / В.Ю. Рогов, П.А. Лонцих, О.М. Сафонова, А.Е. Пашков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 2. – С. 220-227.

Публикации в изданиях, входящих в наукометрические базы данных

Scopus:

4. Eliseev, Sergey V. Introduction of Additional Links as a Form of Purposeful Change of Dynamic States in the Tasks of the Dynamics and Automatic Control of Robotic and Technological Complexes / Sergey V. Eliseev, Ilya I. Livshitz, Pawel A. Lontsikh, О.М. Safonova // 2019 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS). – 2019.
5. Safonova, O.M. Assessment of the competitiveness of industrial companies and methods for assessing the quality of construction products / O.M. Safonova, L.I. Tatarnikova // E3S Web

Conf. «Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering 2019» (TPACEE 2019). – 2020. – Volume 164.

6. Livshitz, I.I. Industrial Systems Security Assessments Study / I.I. Livshitz, **O.M. Safonova**, P.A. Lontsikh, N.P. Lontsikh, E.Y. Golovina // Proceedings of the 2021 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS). – 2021. – С. 161-165.

7. Lontsikh, P.A. Remote Audit Improvement Methods in the System-oriented Information and Security Analysis / P.A. Lontsikh, A.V. Koksharov, **O.M. Safonova**, N.P. Lontsikh, E.Y. Golovina // Proceedings of the 2021 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS). – 2021. – С. 178-182.

8. Livshitz, I.I. HR EDI Projects Risk Assessment / I.I. Livshitz, L.I. Tatarnikova, **O.M. Safonova**, N.P. Lontsikh // Proceedings of the 2022 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies»(IT&QM&IS). – 2022. – С. 166-169.

9. **Safonova, O.M.** Ensuring the competitiveness of industrial enterprises in terms of methods for assessing the quality of industrial products / **O.M. Safonova**, V.Y. Konyukhov // Proceedings on Engineering Sciences. – 2023. – Volume 5(4). – С. 737-742.

10. Livshitz, I.I. Identifying Risks of Implementing Imposed Security Measures for IT Critical Infrastructure / I.I. Livshitz, **Olga M. Safonova** // 2024 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (QM&TIS&IT). – 2024.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

11. Свидетельство № 2025614110, Российская Федерация, Программа определения вероятности безотказной работы рассматриваемого объекта / **O.M. Сафонова**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ИРНИТУ». № заявки 2025612621, заявл. 18.02.2025; опубл. 18.02.2025.