

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

На правах рукописи

ЧАВКИНА ЛЮДМИЛА ЮРЬЕВНА

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ
АВАРИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЗОЛОТА**

Специальность 2.10.3 – «Безопасность труда»

Диссертация на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук, доцент
Меркулова Анна Михайловна

Москва 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	12
1.1 Аварийность и травматизм в металлургической отрасли России.....	12
1.2 Роль оценки риска аварий в обеспечении промышленной безопасности на металлургических предприятиях.....	16
1.3 Современные методы оценки риска.....	21
1.3.1 Классификация методов оценки риска	21
1.3.2 Методы оценки риска, применяемые в металлургической отрасли	24
1.3.3 Методы оценки риска, применяемые в смежных отраслях промышленности.....	25
1.3.4 Зарубежный опыт применения методов оценки риска	26
Выводы по главе 1.....	27
Глава 2. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ОПАСНОСТЕЙ И АВАРИЙ, ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ЗОЛОТА	29
2.1. Производство золота, его специфика и особенности	29
2.2. Принципиальная технологическая схема производства золота	31
2.2.1 Приемная плавка	33
2.2.2 Хлорная плавка по методу Миллера	35
2.2.3 Электролиз с применением раствора «царская водка»	39
2.2.4 Плавка готовой продукции.....	43
2.3 Идентификация опасностей для основных этапов производства золота ..	44
2.4 Идентификация опасностей для вспомогательных этапов производства золота.....	47
Выводы по главе 2.....	48
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ПРОИЗВОДСТВА ЗОЛОТА	50
3.1 Определение критериев опасности для процесса производства золота....	50
3.1.1 Обоснование группы критериев «Природные».....	52
3.1.2 Обоснование группы критериев «Технологические»	56
3.1.3 Обоснование группы критериев «Конструктивные»	61

3.1.4 Обоснование группы критериев «Непреднамеренный человеческий фактор»	64
3.1.5 Обоснование группы критериев «Преднамеренный человеческий фактор»	66
3.2 Определение балльных оценок критериев и установление уровня опасности	67
3.3. Определение удельной частоты аварий	74
Выводы по главе 3	79
ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЗОЛОТА	80
4.1 Описание объектов исследования	80
4.2 Оценка риска аварий по разработанной методике на примере предприятий по производству золота	83
Выводы по главе 4	87
ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СНИЖЕНИЮ РИСКА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЗОЛОТА	88
5.1 Алгоритмическое обеспечение оценки риска аварий для предприятий по производству золота	88
5.2 Перечень мероприятий организационно-технического характера для групп критериев	91
5.3 Рекомендации по снижению риска аварий для установленных уровней опасности	95
Выводы по главе 5	96
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	98
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	100
Приложение А	114
Приложение Б	116
Приложение В	119
Приложение Г	124
Приложение Д	128

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Цветная металлургия представляет собой одну из важнейших сфер тяжелой промышленности, охватывающую весь производственный цикл — от извлечения сырья до создания конечных изделий. Спрос на цветные металлы в России стабильно увеличивается, а сфера их использования весьма обширна. К ней относятся электроэнергетика, авиастроение, машиностроение, атомная отрасль, строительство и сельское хозяйство. Благородные металлы, включая золото, активно применяются в ювелирной промышленности, медицине и химическом машиностроении [1]. Золотодобывающая промышленность является стратегически важной отраслью для экономики многих стран, обеспечивая финансовую стабильность, валютные поступления и занятость населения.

Стоит отметить, что золото является «наднациональной» валютой за счет своей уникальной особенности не терять внутренней стоимости с течением времени — в периоды мировых кризисов цена на золото, как правило, растет на 30–70% [2]. Оно остается одним из безопасных и ликвидных активов страны.

Формирование значительного объема золотовалютных резервов выступает ключевым фактором обеспечения стабильности экономики, что особенно важно в условиях кризисных явлений и рецессии. Требование наращивания золотого запаса стимулирует соответствующий рост в сферах добычи и переработки данного металла, что влечет за собой освоение новых месторождений, ввод в эксплуатацию современных производственных объектов, а также инвестиции в высокотехнологичное оборудование и привлечение дополнительных финансовых ресурсов.

На 2023 год Россия занимала пятое место в мировом рейтинге по количеству золотых резервов страны — 2299 тонн, уступая места США, Германии, Италии и Франции (рис.1) [3].

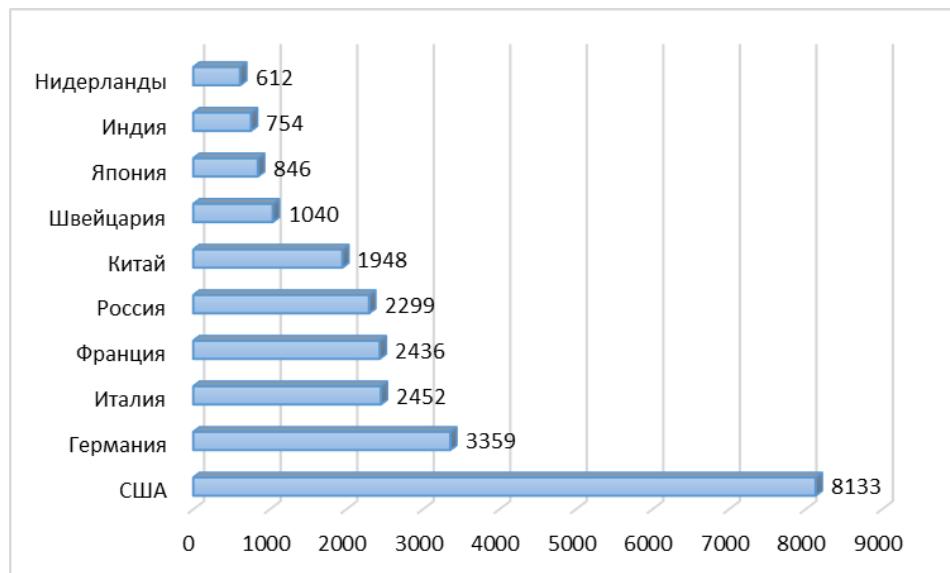


Рисунок 1 – Золотые резервы стран в 2023 г., т

Золотодобывающий сектор России характеризуется непрерывным развитием, сопровождающимся ежегодным приростом объемов извлечения и выпуска золота, а также освоением новых активов. К 2023 году, по сравнению с уровнем 2000 года (143 т), добыча в стране увеличилась до 310 тонн, что свидетельствует о её двукратном росте. На сегодняшний день Российской Федерации занимает третье место в мире по добыче золота, следя в данном рейтинге за Китаем и Австралией [4]. Также в последние годы Россия демонстрирует существенный рост объемов производства золота (рис. 2).

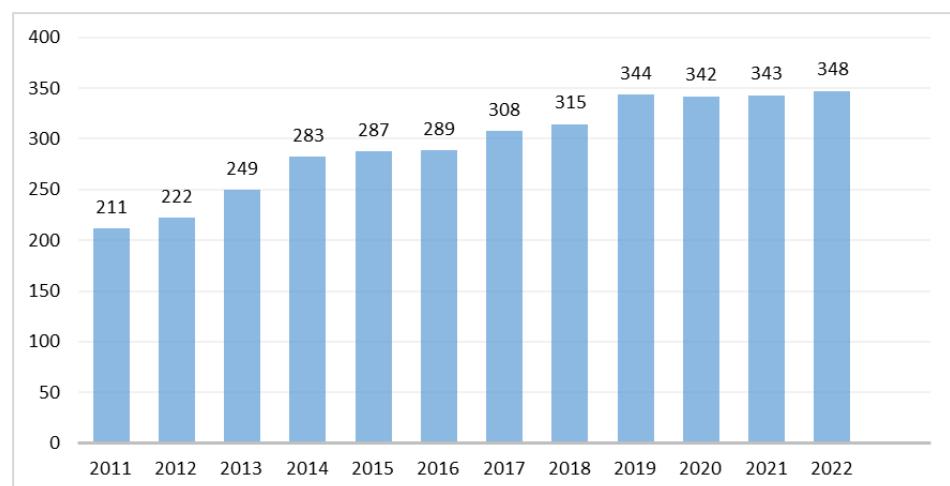


Рисунок 2 – Динамика производства золота на территории России в период 2011–2022 гг., т

В период 2022–2023 гг. многие ранее общедоступные сведения о добыче и производстве золота перестали публиковаться, последние официальные данные были опубликованы в 2022 году.

Рост объемов добычи и производства золота способствует увеличению количества добывающих и перерабатывающих предприятий, росту производственных мощностей и усложнению применяемых технологических процессов и оборудования.

За последние годы аварии на металлургических предприятиях происходят регулярно, при этом многие из них приводят не только к значительным материальным потерям, но и к человеческим жертвам. Основным фактором, влияющим на стабильность аварийных показателей, является несоблюдение комплекса требований в области промышленной безопасности.

К числу наиболее важных проблем в металлургической отрасли относят медленные темпы модернизации оборудования и технических средств безопасности, замедленное внедрение современных технологий. Также достаточно остро стоят вопросы соблюдения требований промышленной безопасности, качества обучения и повышения квалификации сотрудников предприятий, вопросы производственного контроля.

Производство золота имеет свою специфику, связанную с наличием значительных рисков в области промышленной, производственной и экологической безопасности. В соответствии с Федеральным законом от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» такие производства относятся к особо опасным производственным объектам [5], как правило, второго и третьего класса опасности, и вопросы по снижению аварийности, обеспечению здоровья сотрудников, своевременному выявлению опасностей, управлению рисками, являются для них актуальными и необходимыми.

В настоящее время подход металлургических компаний к промышленной безопасности базируется на принципе предотвращения аварий

и чрезвычайных ситуаций на производстве. Для реализации этого принципа на предприятиях отрасли активно применяются разнообразные методики анализа опасностей и оценки рисков.

Степень разработанности темы исследования установлена на основании комплексного изучения значительного массива специализированной литературы и документации. Источниками для анализа послужили публикации в печатных и электронных форматах, ресурсы сети «Интернет», а также действующий нормативно-правовой и технический регламент, включая законодательные акты, государственные и отраслевые стандарты, федеральные нормы и правила.

Проблемы управления риском аварий в металлургической отрасли рассмотрены в работах Бикмухаметова М.Г., Белова П.Г., Ерёмина А.К., Карнаух М.Н., Кравчук И.Л., Мастрюкова Б.С., Тимиргалиевой Л.Ш., Фомичевой О.А. Применяемые методы оценки риска аварий на опасных производственных объектах в смежных отраслях (в том числе горнодобывающей, нефтегазовой) были освещены в работах следующих авторов: Артюшин Ю.И., Гражданкин А.И., Заернюк В.М., Захарова М.И., Кловач Е.В., Коробов А.В., Лисанов М.В., Овчаров С.В., Савина А.В., Суворова В.В., Файнбург Г.З. Методы оценки риска аварий, применяемые за рубежом, приведены в работах авторов Хенли Э.Д., Кумамото Х., Маршалл В., Туйтебаевой Д.С., Имангазина М.К., Саттаровой Г.Н., Zeqiri Kemajl, Qingwei Xu, Kaili Xu. В работах авторов представлены наиболее распространенные подходы в области оценки риска.

В России сейчас созданы и действуют правовые акты, включающие общие инструкции по оценке рисков на опасных промышленных объектах, а также специальные рекомендации для отдельных сфер производства, таких как угольная и нефтегазовая промышленность. Однако на текущий момент не разработано единого отраслевого документа, регламентирующего процедуру оценки риска аварий непосредственно для металлургических предприятий.

Проведённый анализ научной литературы и нормативной базы показал отсутствие исследований, непосредственно посвящённых тематике настоящей диссертации. Несмотря на большое количество применяемых методов оценки риска, ни один из них не адаптирован для предприятий по производству золота с учётом их технологической и производственной специфики. Таким образом, создание методики оценки рисков, учитывающей особенности предприятий по производству золота, представляет собой актуальную научную задачу.

Целью исследования является разработка метода оценки и управления риском аварий на металлургических предприятиях по производству золота.

Идея работы заключается в учете при оценке рисков аварий взаимосвязи критериев, отражающих специфику предприятий по производству золота.

Исходя из цели исследования, были поставлены следующие **задачи**:

1. Идентифицировать опасности для каждого технологического процесса и установить характерные аварии на основании технологической схемы производства золота.

2. Разработать методику оценки риска аварий для предприятий по производству золота.

3. Составить алгоритм для качественной и количественной оценки риска аварий для предприятий по производству золота.

4. Разработать перечень рекомендаций по снижению риска аварий в зависимости от установленного уровня опасности.

Объектом исследования являются методы оценки риска аварий, применяемые на металлургических предприятиях.

Предметом исследования является взаимосвязь условий производства золота с величиной риска аварий.

Научная новизна работы заключается в разработке метода оценки риска аварий на основе критериев, учитывающих специфику предприятий по производству золота

Практическая значимость работы заключается в разработке методики оценки и управления риском аварий, применение которой при проектировании и эксплуатации предприятий позволит предотвратить и минимизировать последствия аварий на предприятиях по производству золота.

Методология и методы исследования

Для решения поставленных задач в ходе исследования был применён комплекс общенаучных и специальных методов. К общенаучным относятся сбор, обработка, анализ, обобщение, систематизация и синтез данных. В число специальных методов вошли критеризация, кластеризация, формализация, верификация, ранжирование, а также методы экспертных и балльных оценок.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Интегральная оценка риска аварий при производстве золота базируется на комплексе выявленных критериев, учитывающих природные, технологические, конструктивные особенности производства, а также непреднамеренный и преднамеренный человеческий фактор.
2. Разработанные алгоритм оценки опасностей и механизм управления риском при производстве золота позволяют устанавливать значимые причинно-следственные связи между природными и технологическими факторами опасности и оценивать роль человеческого фактора, приводящего к возникновению аварии, а также выявлять наиболее эффективные меры по обеспечению безопасности предприятия в соответствии с уровнем риска.
3. Повышение уровня безопасности при производстве золота может быть обеспечено применением разработанного метода оценки риска аварий, включающего оценку взаимоувязки природно-технологических факторов опасности с человеческим фактором для определения наиболее уязвимого участка технологического цикла производства золота и выбора целенаправленных мероприятий по снижению его уязвимости.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Тема диссертации соответствует паспорту заявленной специальности 2.10.3 «Безопасность труда», пункту 1 «Разработка научно обоснованных

методов анализа и прогнозирования параметров состояния производственной среды, опасных ситуаций и опасных зон».

Степень достоверности

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается: репрезентативным массивом статистических данных об аварийности в металлургии; корректным применением актуальной нормативно-правовой базы; использованием апробированных научных методов и современного математического инструментария для обработки информации, включая программный комплекс MS Excel («Анализ данных»); а также высокой степенью согласованности мнений экспертной группы.

Апробация результатов

Основные положения диссертационной работы докладывались на IV Всероссийской научно-практической конференции «Охрана труда и техносферная безопасность на объектах промышленности, транспорта и социальных инфраструктур» (г. Пенза, 2025); IV Международной научно-практической конференции "Экологическая, промышленная и пожарная безопасность" (г. Астрахань, 2025); Общероссийской научно-практической конференции «Экология. Риск. Безопасность» (г. Курган, ноябрь 2025); на научных семинарах кафедры «Техносферная безопасность» (НИТУ МИСИС, 2023–2025).

Публикации по теме исследования

По теме диссертационной работы опубликовано 7 работ ВАК (из них 5 работ опубликованы в изданиях, входящих в международные системы цитирования SCOPUS).

Личный вклад автора

Формулировка основной идеи, определение цели и задач исследования; сбор и обработку статистической информации с последующей интерпретацией полученных результатов; идентификацию производственных опасностей, характерных для процесса производства золота; а также разработку анкет для

экспертного опроса, проведение опроса и обработку результатов. Подготовка научных статей по теме диссертационного исследования к публикации.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, пяти приложений; содержит 128 страниц, 19 рисунков, 19 таблиц, список использованной литературы из 120 наименований.

Глава 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Аварийность и травматизм в металлургической отрасли России

Несмотря на постоянное технологическое развитие и модернизацию металлургического производства, ситуация в области промышленной безопасности не демонстрирует положительной динамики. Показатели аварийности и уровня производственного травматизма на предприятиях отрасли остаются стабильно высокими. Это подтверждает ежегодная статистика Ростехнадзора (рис. 3) [6].

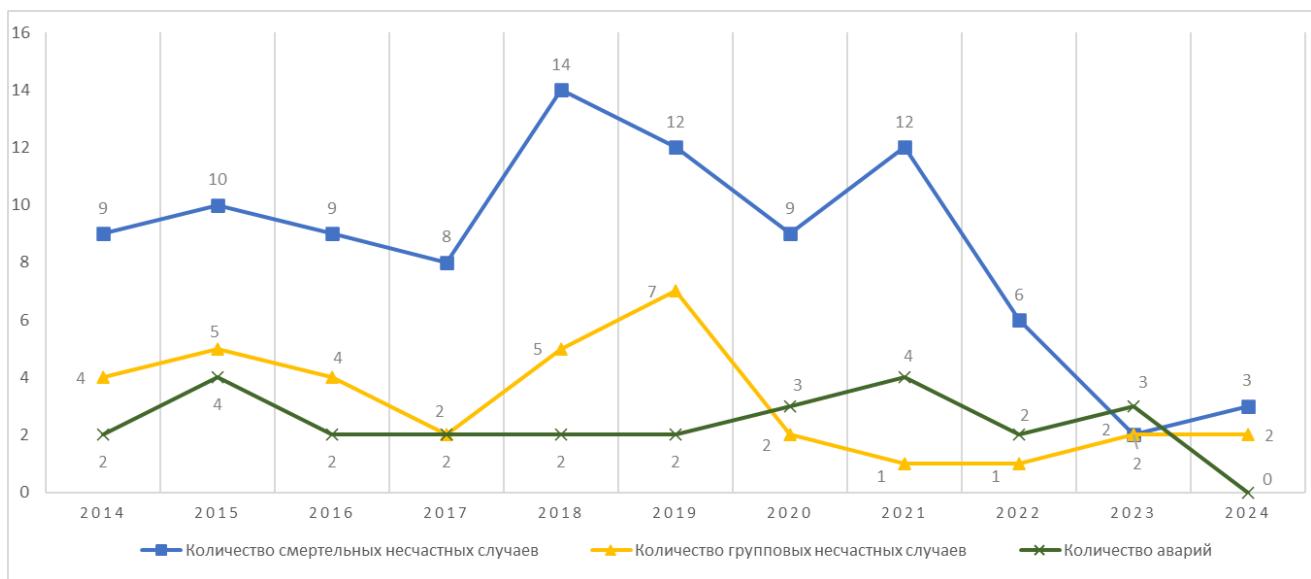


Рисунок 3 – Динамика аварийности и травматизма в металлургической отрасли за 2014–2024 гг.

Статистика последних десяти лет показывает явное противоречие: если количество смертельных случаев постепенно снижается, то частота аварий остаётся практически неизменной, составляя в среднем 2-4 случая в год. Это свидетельствует о том, что ключевые риски, связанные с нарушениями в ходе технологических процессах, состоянием оборудования, по-прежнему не устранены. Это происходит на фоне комплекса принимаемых компаниями мер, включающих модернизацию производства, обучение персонала и усиление контроля за соблюдением правил пожарной и промышленной безопасности,

охраны труда, повышении уровня квалификации и образования сотрудников [7].

Металлургические предприятия, как объекты повышенной техногенной опасности, характеризуются комплексом факторов: значительными расходом сырья и материалов (включая опасные химические вещества); высокой энерго- и материалоемкостью производства; эксплуатацией мощного технологического и грузоподъёмного оборудования; обширными производственными площадями. Дополнительными факторами риска служат: расположение многих предприятий вблизи густонаселённых пунктов и водных объектов, а также высокая численность персонала, занятого в основных и вспомогательных процессах [8].

По результатам исследования аварий, произошедших в металлургической отрасли в течение последних пяти лет, были определены ключевые причины аварий (рис.4).



Рисунок 4 – Удельный вес причин смертельных случаев на производстве за 2019–2023 гг.

Совокупное действие указанных факторов оказывает деструктивное влияние на организацию и эффективность трудовой деятельности, а также на физиологический и психоэмоциональное состояние работников. Это создает предпосылки для повышения вероятности возникновения аварийных ситуаций и, как следствие, производственного травматизма. Проведенный анализ свидетельствует о том, что в структуре причин инцидентов наблюдается устойчивая тенденция: доля отказов технических систем снижается, в то время как детерминирующая роль человеческого фактора, проявляющегося в разнообразных формах, неуклонно возрастает [9].

В таблице 1 представлена статистика аварий в цветной металлургии за последние 5 лет с указанием причин аварий и понесенного ущерба.

Таблица 1 – Статистика аварий в цветной металлургии за период 2019–2022 гг.

Год	Авария	Опасные факторы	Причины	Ущерб от аварии, млн. руб.
2023	Взрыв с последующим пожаром внутри здания, обрушение части кровли и стен	Выброс расплавов, выброс газов	Нарушение технологического процесса	47,0
2023	При взаимодействии охлаждающей жидкости и расплавленного металла произошел хлопок с выбросом части жидкого металла и возгорание шлангов охлаждения, электрооборудования и шкафа управления печи	Выброс расплавов, выброс газов	Нарушение технологического процесса	23,4
2023	Возгорание упаковочной полиэтиленовой пленки, хранящейся в помещении склада оборудования и запчастей. Вследствие чего произошла деформация колонны, и обрушение строительных конструкций здания	Выброс расплавов, выброс газов из технических устройств	Нарушение технологического процесса	2,3

Продолжение табл. 1

Год	Авария	Опасные факторы	Причины	Ущерб от аварии, млн. руб.
2022	Взрыв в плавильной печи алюминия, повлекший разрушения стены и покрытия здания и технического устройства	-	Нарушение технологического процесса	79,5
2022	Взрыв в здании кислородно-распределительного пункта	-	Неудовлетворительная организация производства работ	68,7
2021	Разгерметизация емкости с соляной кислотой её вытекание в поддон	-	Неудовлетворительное техническое состояние зданий, сооружений, территории	0,6
2021	Обрушение загрузочных бункеров шахтных печей	-	Неудовлетворительное техническое состояние зданий, сооружений, территории	1,5
2021	Взрыв в помещении кислородно-распределительного пункта, частичное разрушение стен и кровли	-	Неудовлетворительная организация производства работ	0,3
2021	Взрыв в угольной башне, возгорание конвейера	-	Эксплуатация неисправных машин, механизмов, оборудования	0,7
2020	Неконтролируемое воспламенение шихтовой смеси, вследствие чего возгорание коммуникаций печи и мостового крана, повреждение стеновых панелей	-	Нарушение технологического процесса	2,1
2020	Разлив бензола при заполнении цистерны	-	Нарушение технологического процесса	0,02
2019	Хлопок в результате взаимодействия охлаждающей жидкости и расплавленного металла, вследствие чего возгорание оборудования	-	Нарушение технологического процесса	5,2
2019	Взрыв в результате ухода металла из сталеразливочного ковша	Выброс расплавов, выброс газов	Нарушение технологического процесса	16,7

Анализ данных за 2019–2023 годы показывает, что около 70% промышленных аварий связаны с нарушением технологического процесса (9 из 13 случаев). Наибольший финансовый ущерб зафиксирован при взрывах с последующим разрушением строительных конструкций зданий и дорогостоящего технологического оборудования.

Факторы, приводящие к несчастным случаям и авариям на предприятиях metallurgической отрасли, условно делятся на две группы: внешние и внутренние. На внешние факторы, к которым относят погодные условия, природные катастрофы, эпидемии и военные действия, промышленные компании повлиять не могут, равно как и спрогнозировать их возникновение. Однако их вклад в общую аварийность незначителен. В противоположность этому, внутренние факторы, такие как пренебрежение нормами охраны труда и промышленной безопасности, низкая профессиональная подготовка кадров, а также социально-психологическая напряженность в трудовых коллективах, представляют собой основную угрозу для безопасности персонала. [10].

Выявление действенных мер предотвращения происшествий требует внедрения подходов, воздействующих непосредственно на все факторы риска. Использование современных методик, основанных на упреждающем контроле за безопасностью, может сыграть решающую роль в устраниении или снижении аварий, сокращении производственного травматизма, что позитивно скажется на функционировании и производительности предприятия.

1.2 Роль оценки риска аварий в обеспечении промышленной безопасности на металлургических предприятиях

Обеспечение промышленной безопасностью на металлургическом производстве является неотъемлемым требованием для опасных производственных объектов и зависит от выбора системы управления рисками на производственных объектах. В 2022 году Правительством Российской Федерации была утверждена Стратегия развития металлургической промышленности, определяющая её ключевые ориентиры до 2030 года и предусматривающая не только рост объемов переработки и выпуска

продукции высоких переделов, но и повышение уровня охраны труда. В связи с этим задача совершенствования методологии оценки риска аварий приобретает особую значимость [11].

Уровень опасности, присущий опасным производственным объектам, наиболее точно характеризуется через показатель риска аварии. Однако само понятие риска является комплексным и неоднозначным, что осложняет его унифицированное использование и толкование. Подходы к определению и оценке риска дифференцируются в соответствии со спецификой той или иной сферы деятельности, в контексте которой он рассматривается.

Согласно Большой российской энциклопедии, риск – возможная опасность, вероятность неблагоприятного развития событий или результата действий [12].

Согласно методологическим основам оценки риска для опасных производственных объектов, под риском аварии понимается количественная или качественная мера опасности, которая характеризует вероятность возникновения аварии на объекте и соответствующую ей тяжесть последствий [13].

Приемлемый риск определяется как предельно низкая величина риска, которая может быть обеспечена на данном этапе развития техники, экономики и технологий, и на которую общество сознательно идет в своей жизнедеятельности. Данная концепция отражает некий компромисс, устанавливаемый между прогнозируемым ущербом от негативных событий и финансовыми вложениями, требуемыми для их предупреждения или смягчения.

На данный момент в России на законодательном уровне показатель приемлемого риска не закреплен, но по международной договоренности принято считать приемлемым риском уровень индивидуального риска – величину, равную $1*10^{-6}$ год⁻¹ [14]. При этом, нормативными правовыми актами для отдельных категорий опасных производственных объектов, исходя

из особенностей их технологических процессов, предусмотрено допустимое значение риска, не превышающее $1*10^{-4}$ год⁻¹ [15].

Именно определение приемлемого уровня риска является отправной точкой для выработки превентивных мероприятий, их реализации, а также для последующего контроля эффективности реализованных решений.

Существует несколько показателей для оценки риска аварий:

- индивидуальный риск R_{ind} - ожидаемая частота поражения отдельного человека под воздействием изучаемых поражающих факторов аварии;
- потенциальный риск (или потенциальный территориальный риск) R_{nom} - частота проявления поражающих факторов аварии в заданной точке на территории опасного производственного объекта (ОПО) и прилегающей местности;
- коллективный риск (или ожидаемые людские потери) R_{coll} - прогнозируемое число пострадавших в результате возможных аварий за установленный промежуток времени;
- социальный риск (или риск поражения группы людей) $F_{(x)}$ - зависимость частоты возникновения сценариев аварий F , в которых пострадало на определенном уровне не менее N человек, от этого числа N (представляется в виде соответствующей F/N -кривой);
- частота реализации аварии с гибелью не менее одного человека R_I .

Наиболее распространенным вариантом расчета риска аварий R является следующее выражение:

$$R = P \cdot I , \quad (1)$$

где P – вероятность наступления опасного события;

I – величина последствий этого события [16].

Согласно ГОСТ 51901.1–2002, риск подразумевает комбинацию вероятности события и его возможных последствий [17]. Именно такая

интерпретация определения риска является преобладающей в современном мире по мнению исследователей в разных научных областях [18-22].

Для промышленных предприятий, которые эксплуатируют объекты I и II класса опасности, законодательством установлено требование о внедрении системы управления промышленной безопасностью (СУПБ). Ключевым и обязательным компонентом данной системы выступает процедура по выявлению потенциальных опасностей и оценка риска.

Систематическая идентификация опасностей и оценка риска аварий на производственных объектах являются основой для предотвращения аварий. Они позволяют выявить потенциальные источники аварийных ситуаций (например, утечки токсичных веществ, взрывы, пожары) еще до их реализации, оценить вероятность и тяжесть возможных последствий для персонала, населения и окружающей среды. Управление рисками трансформируется из реагирования на произошедшие инциденты в их прогнозирование и предупреждение, что напрямую сохраняет человеческие жизни, минимизирует экономические потери и обеспечивает устойчивую работу предприятия.

Оценка риска аварий служит инструментом для решения значимых задач в области промышленной безопасности, таких, как:

- ✓ формирование всестороннего и адекватного понимания актуального уровня безопасности производственного объекта;
- ✓ выявление производственных участков с наибольшим уровнем опасности и осуществление категорирования помещений по степени риска;
- ✓ разработка плана мероприятий, направленного на минимизацию или полное устранение выявленных рисков.

Метод проведения анализа риска аварий опасных производственных объектов состоит из следующих основных этапов (рис.5):



Рисунок 5 – Этапы проведения анализа риска аварий на производственных объектах

Корректно выполненная процедура оценки рисков обеспечивает не только идентификацию опасных участков и разработку адресных корректирующих действий. В стратегической перспективе она вносит существенный вклад в достижение глобальной цели — системного повышения безопасности производственной деятельности в металлургическом комплексе.

Результаты оценки риска аварий позволяют:

- получить полную объективную информацию о состоянии промышленной безопасности исследуемого объекта,
- определить наиболее опасные участки производства, провести категорирование помещений по уровням опасности;
- разработать мероприятия с целью снижения или устранения риска.

Корректно проведенная оценка риска аварий позволяет не только идентифицировать наиболее опасные участки производства и разработать целевые мероприятия по снижению риска, но и в конечном итоге способствует

достижению стратегических целей по повышению уровня безопасности труда в металлургической отрасли.

1.3 Современные методы оценки риска

1.3.1 Классификация методов оценки риска

Оценка риска служит фундаментальной основой для системы управления промышленной безопасностью на опасных производственных объектах. Данная процедура нацелена на выявление потенциальных опасностей, анализ вероятности наступления и масштаба возможных аварийных ситуаций, а также разработку мер по их предотвращению и минимизации ущерба. Для предприятий, использующих в производстве опасные вещества и технологии, использование актуальных методов оценки рисков представляет собой обязательное условие для поддержания стабильной и безопасной эксплуатации производственных объектов.

Проведённый анализ нормативной базы и научной литературы, посвящённой оценке риска в различных сферах, позволяет систематизировать существующие методы по ряду ключевых признаков:

- характеру исходной информации (качественные, количественные, полуколичественные);
- сфере первоначального применения (вероятностно-статистические, детерминированные, экспертные);
- объекту исследования (риск аварии, профессиональный риск, коллективный и индивидуальный риски и т.д.) [23].

Качественные методы (*проверочные листы, метод экспертных оценок, анализ «Что, если?», HAZOP (Analysis of Hazards and Operability), карты потоков, ASR – Accident Sequences Precursor (причины последовательности несчастных случаев), Анализ вида и последствий отказов (АВПО), матрицы рисков и др.*) основаны на описательных характеристиках риска и используются для первичной идентификации опасностей и ранжирования рисков. Как отмечают исследователи, эти методы широко применяются на

начальных этапах анализа ввиду их относительной простоты и наглядности [24-26]. Качественная оценка подразумевает установление причин и источников рисков, определение наиболее уязвимых участков и размеров потенциального ущерба при возникновении чрезвычайной ситуации. Эта группа методов отличается простотой применения по сравнению с количественными методами и не требуют глубоких и детальных знаний.

Количественные методы предполагают численное определение значений вероятности реализации аварии и масштабов её последствий. К количественным методам относятся: инструменты статистического контроля (*контрольные карты*); методы логико-вероятностного моделирования (*анализ деревьев событий и отказов, дерево решений*); прогнозные методики анализа безотказности; балльные и ранговые системы (*ранжирование рисков, балльные оценки*), а также статистические методы согласования экспертных мнений (*расчёт коэффициентов конкордации*). Результатом является величина риска, выраженная в конкретных числах (например, вероятность смерти человека в год). Наиболее развитыми методами являются вероятностный анализ безопасности (Probabilistic Safety Assessment), метод построения деревьев событий и деревьев отказов [27-28].

Комбинированные методы сочетают подходы качественного и количественного анализа (конкретные методы или их отдельные элементы), присваивая идентифицированным опасностям балльные оценки по вероятности и тяжести последствий с последующим расчетом интегрального показателя риска. Данные методы нашли широкое применение в связи с их адаптивностью и меньшей трудоемкостью по сравнению с полноценными количественными расчетами [29].

На основании анализа вышеперечисленных источников и ГОСТ [30] представлена классификация методов оценки риска, основанная на областях их преимущественного применения (рис. 6).

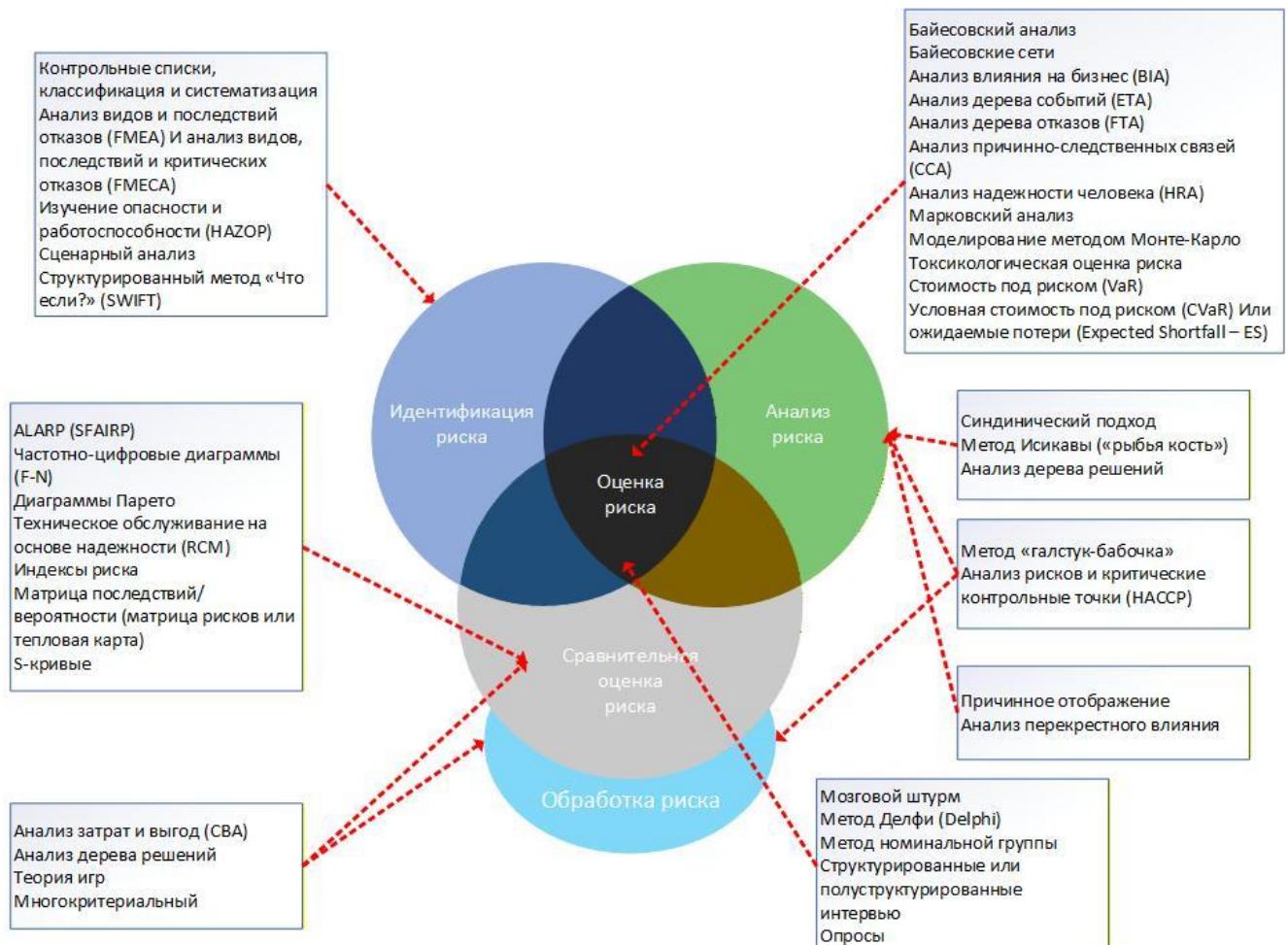


Рисунок 6—Методы оценки риска в структуре управления рисками

В трудах отечественного ученого П.Г. Белова акцентируется внимание на том, что выбор конкретного метода или их комбинации зависит от целей оценки, доступности исходных данных и специфики опасного производственного объекта [31].

На данный момент в России разработаны и действуют нормативные документы, содержащие методические рекомендации в области оценки риска общего характера для опасных производственных объектов [13] и рекомендации для специфичных отраслей промышленности (угольных шахт, нефтегазоперерабатывающей) [32-34]. На сегодняшний день отсутствует специальный нормативный документ, устанавливающий единый порядок оценки аварийного риска для металлургической отрасли, в частности, для предприятий по производству золота.

1.3.2 Методы оценки риска, применяемые в металлургической отрасли

Анализ диссертационных исследований и научных публикаций, посвященных металлургической отрасли, показывает преобладание методов, адаптированных к специфике непрерывных и многостадийных производственных процессов черной металлургии.

В металлургической отрасли методам оценки риска посвящен ряд научных публикаций. Так, М.Г. Бикмухаметов для оценки риска аварийных ситуаций на Магнитогорском металлургическом комбинате усовершенствовал методику, основанную на анализе статистики отказов оборудования и экспертной оценке факторов производственной среды [35]. Аналогичный подход, сфокусированный на прогнозировании аварийных ситуаций для повышения устойчивости предприятия, разработала Л.Ш. Тимиргалеева для коксохимического производства [36].

Важным направлением является оценка риска, связанного с состоянием строительных конструкций. А.К. Еремин исследовал риск аварийного обрушения металлических каркасов промышленных зданий, используя вероятностно-статистические методы оценки надежности конструкций [37].

В исследованиях О.А. Фомичевой и коллектива авторов под руководством Б.С. Мастрюкова для литейно-прокатного комплекса применялся метод оценки потенциальной опасности подразделений, который можно отнести к полуколичественным. Он предполагал расчет комплексного показателя, учитывающего токсичность и пожаровзрывоопасность веществ, параметры процесса и масштабы возможных последствий [38-39].

М.Н. Карнаух в своих исследованиях обосновал необходимость системного подхода к управлению промышленной безопасностью, позиционируя оценку риска в качестве фундамента для разработки превентивных мер и модернизации системы управления [40]. Таким образом, в черной металлургии сформировался комплексный подход, сочетающий статистические данные, экспертные оценки и анализ надежности оборудования и конструкций.

1.3.3 Методы оценки риска, применяемые в смежных отраслях промышленности

Горнодобывающая отрасль, включая золотодобычу, характеризуется своими уникальными опасностями: обрушение пород, газодинамические явления, прорывы воды. И.Л. Кравчук и Ю.И. Артюшин в своих работах заложили теоретические основы оценки рисков для горнодобывающих регионов и предприятий, предлагая методики, учитывающие геомеханические, технологические и природные факторы [41-42]. Г.З. Файнбург и Е.Д. Розенфельд разработали методологию оценки совокупного риска от комплекса опасностей подземных рудников, что является шагом к интегральной оценке безопасности [43]. Применительно к золотодобыче В.В. Заернюк и Н.О. Снитко проанализировали подходы к оценке техногенных рисков, указав на недостаточную проработанность методик для карьерных и гидрометаллургических производств [44].

Нефтегазовый комплекс обладает наибольшим количественном исследований в области оценки риска, включая конкретные методы для трубопроводов и резервуарных парков. Однако их применение для предприятий по производству золота затруднено из-за фундаментальной разницы в технологических процессах и видах опасностей.

Исследования М.В. Лисанова, А.В. Гражданкина, С.В. Овчарова и А.В. Савиной посвящены глубокому вероятностному анализу риска аварий на магистральных трубопроводах, резервуарных парках и других объектах [45-48]. В этих работах широко используются методы построения деревьев событий, моделирования последствий (пожаров, взрывов, разливов) и оценки индивидуального и социального риска. В.В. Суворова разработала методы идентификации и категорирования опасностей для газораспределительных систем, что близко к задачам первичного качественного анализа [49]. А.В. Коробов, в свою очередь, сосредоточился на оценке профессиональных рисков работников топливно-энергетического комплекса [50].

1.3.4 Зарубежный опыт применения методов оценки риска

Международный опыт оценки риска характеризуется высокой степенью формализации и стандартизации. Классическими трудами, заложившими основы теории надежности и вероятностного анализа риска, являются работы Э.Д. Хенли и Х. Кумамото, где акцент сделан на технических отказах (их комбинациях) и на количественной оценке риска [51], а также В. Маршалла, систематизировавшего подходы к идентификации основных опасностей химических производств и тем самым заложившего основу качественной оценки риска [52].

Современные зарубежные исследования демонстрируют тенденцию к использованию комплексных и статистических методов. Так, Qingwei Xu и Kaili Xu провели статистический анализ и прогнозирование аварий в металлургической промышленности Китая, что указывает на важность ретроспективного анализа данных для оценки рисков [53]. Kemajl Zeqiri и соавторы в своем исследовании на свинцово-цинковом руднике провели комплексный анализ методологий прогнозирования аварий и оценки рисков, комбинируя различные детерминированные и вероятностные подходы (матрица рисков, анализ «дерева причин», создание чек-листов по ключевым факторам риска) для повышения достоверности результатов [54].

Исследования ученых из стран СНГ также вносят вклад в развитие методологии оценки риска аварий. Д.С. Туйтебаева рассматривает вопросы интеграции риск-менеджмента в систему управления качеством в нефтегазовом секторе Казахстана [55]. М.К. Имангазин провел оценку риска опасности аварий на золоторудном месторождении Жиланды, однако его работа сфокусирована в основном на экологических аспектах и не охватывает в полной мере специфику металлургического передела [56]. Г.Н. Саттарова и др. пишут о том, что в условиях дефицита статистических данных экспертные методы широко применяются для оценки риска на предприятиях горнодобывающей отрасли, что свидетельствует об их актуальности и востребованности. [57]. Р.Н. Иманов и С.И. Мамедова решают проблему

оценки риска аварий на резервуарных парках НПЗ Азербайджана, используя комбинацию методов (HAZOP и FTA), в результате которой разработан план по повышению уровня безопасности объекта [58] Lööw, J., Nygren, M. в исследовании привели результаты анализа выявления причин аварийности и травматизма горнодобывающей отрасли Швейцарии качественным методом [59]. Bonsu J. с соавторами рассматривают модель «Шведского сыра» (Swiss Cheese Model, SCM) для визуализации и анализа системы безопасности горного предприятия. Модель помогает идентифицировать недостатки («дыры») на разных уровнях контроля: организационном, надзорном, предпосылок к работе (условия, оборудование) и небезопасных действий [60]. Bernaldez I. и Soriano V. в своей работе отразили результаты исследования, направленного на выявление конкретных опасностей, характерных для плохо регулируемого сектора добычи золота. Использовался качественный подход, основанный на применении контрольных списков [61].

Выводы по главе 1

1. Согласно статистическим данным Ростехнадзора по аварийности и травматизму в металлургической отрасли, количество аварий на протяжении последних десяти лет остается стабильным – 2–4 аварии в год. Это говорит о том, что несмотря на предпринимаемые организациями меры в области промышленной безопасности, аварии по-прежнему происходят и необходима разработка дополнительных мер, способствующих снижению либо устранению риска аварий.

2. Анализ нормативной базы и существующих методов оценки рисков позволил установить, что в настоящее время не разработано единых методических рекомендаций по оценке риска аварий для металлургической отрасли в целом. Также отсутствует специализированный метод, учитывающий технологические и производственные особенности предприятий по производству золота.

3. Применяемые в других отраслях методы оценки риска не адаптированы к особенностям производства золота, что создаёт необходимость в создании новой, отраслевой методики для управления риском аварий, которая позволит своевременно и полно идентифицировать опасности, количественно оценивать риски и разрабатывать эффективные превентивные меры для данного производства.

Глава 2. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ОПАСНОСТЕЙ И АВАРИЙ, ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ЗОЛОТА

2.1. Производство золота, его специфика и особенности

Золото, сохраняя свою значимость на протяжении длительного исторического периода, продолжает оставаться одним из ключевых металлов для мировой экономики. В современных условиях величина золотого резерва государства служит индикатором его финансовой устойчивости и суверенитета. Сфера использования золота демонстрирует постоянное расширение: помимо традиционных направлений, таких как инвестиции и ювелирное дело, оно находит применение в фармацевтике, микроэлектронике, производстве медицинских имплантатов, диагностике и терапии онкологических заболеваний, атомной промышленности и других высокотехнологичных областях.

Поэтому задача получения золота высокой чистоты из различных видов сырья приобретает особую актуальность. Данная потребность стимулирует активное развитие предприятий золотодобывающего и аффинажного комплекса, что выражается в устойчивом росте объёмов извлечённого и аффинированного металла. В период 1990–2010 гг. Россия ощутимо сократила объемы добычи золота. Но к 2020 год страна удвоила разработку золота, тем самым к 2023 году вошла в лидирующую пятерку стран по добыче золота [62].

Российский сектор золотодобычи демонстрирует стабильный рост. Показатели по извлечённому и переработанному металлу увеличиваются, параллельно с этим идёт активное освоение новых сырьевых месторождений и строительство предприятий, что свидетельствует о развитии отрасли.

Увеличение производства золота было обеспечено выходом ряда объектов на полную мощность, внедрением новых, передовых технологий, модернизацией оборудования и процессов, а также запуском новых проектов.

В 2020 году из извлеченных 331,9 тонн золота из российских недр (добыча, попутное производство и концентраты), 76,2% добыли компании с

годовым производством более двух тонн. Основной объём переработки золота в стране обеспечивается рядом крупнейших компаний, являющихся лидерами рынка. Среди них можно выделить «ПАО «Полюс», Highland Gold, ОАО «УГМК», АО «Полиметалл», АО «ЮГК» и Нордголд [62].

Производство драгоценных металлов представляет собой комплексный процесс извлечения ценных металлов из комплексных руд, концентратов и промежуточных продуктов. Параллельно с переработкой первичного сырья, всё большее значение приобретает утилизация вторичных ресурсов. К ним относятся: отработанные катализаторы, электронные отходы, материалы фото- и кинопромышленности, бракованная продукция, а также техногенные образования (шлаки, кеки, пыли). Вклад вторичного сырья в общий сырьевой поток неуклонно растёт, что отражает тенденцию к рациональному ресурсопользованию [63].

Производственный цикл золота — это сложный комплекс взаимосвязанных операций, обладающий отраслевой спецификой. К основным его особенностям относятся:

- ✓ потери драгоценных металлов потеря драгоценных металлов в отвалах и шламах;
- ✓ использование дорогостоящих оборудования и реагентов;
- ✓ использование вредных, токсичных, взрывоопасных веществ (хлор, сильных кислот (серная, азотная, соляная), органических реагентов и растворителей);
- ✓ неблагоприятный микроклимат производственных помещений;
- ✓ повышенная энергоёмкость процессов, в частности при аффинаже вторичного сырья;
- ✓ загрязнение воздуха мелкодисперсной минеральной пылью;
- ✓ исключительная длительность и высокая трудоёмкость всего производственного цикла [8].

Дополнительным фактором является то, что предприятия по производству золота ввиду специфики продукции являются режимными

объектами с повышенной системой безопасности и высоким уровнем секретности. Понятие "режимный объект" охватывает военные и специальные объекты, воинские части, а также предприятия и учреждения, функционирование которых требует установления усиленных мер безопасности. Одним из определяющих признаков таких объектов является работа с информацией, отнесённой к государственной тайне, что обуславливает необходимость соблюдения строгого секретности [64]. Высокий уровень секретности поддерживается за счет особого режима допуска персонала, строгого пропускного контроля, ограничений на использование средств связи и регулярных проверок со стороны специальных служб.

2.2. Принципиальная технологическая схема производства золота

Аффинаж представляет собой комплекс технологических операций, направленных на выделение чистого золота, соответствующего высшей пробе 999,9, за счет удаления из сырья всех сопутствующих примесей. Аффинажные заводы представляют собой высокотехнологичные производственные комплексы, основным видом деятельности которых является аффинаж — глубокая очистка и приведение драгоценных металлов к нормам, регламентированным национальными и международными стандартами [65].

В Российской Федерации аффинажные операции могут проводить лишь двенадцать компаний, имеющих соответствующую государственную лицензию [66]. Получение аффинированного золота и сопутствующих металлов представляет собой крайне сложную технологическую задачу, и обеспечение необходимой потребности в них возможно лишь при условии внедрения в производство высокоэффективных технологических процессов.

На рисунке 7 представлена принципиальная схема производства золота. Основные этапы технологического процесса выделены синим цветом, вспомогательные этапы — голубым.

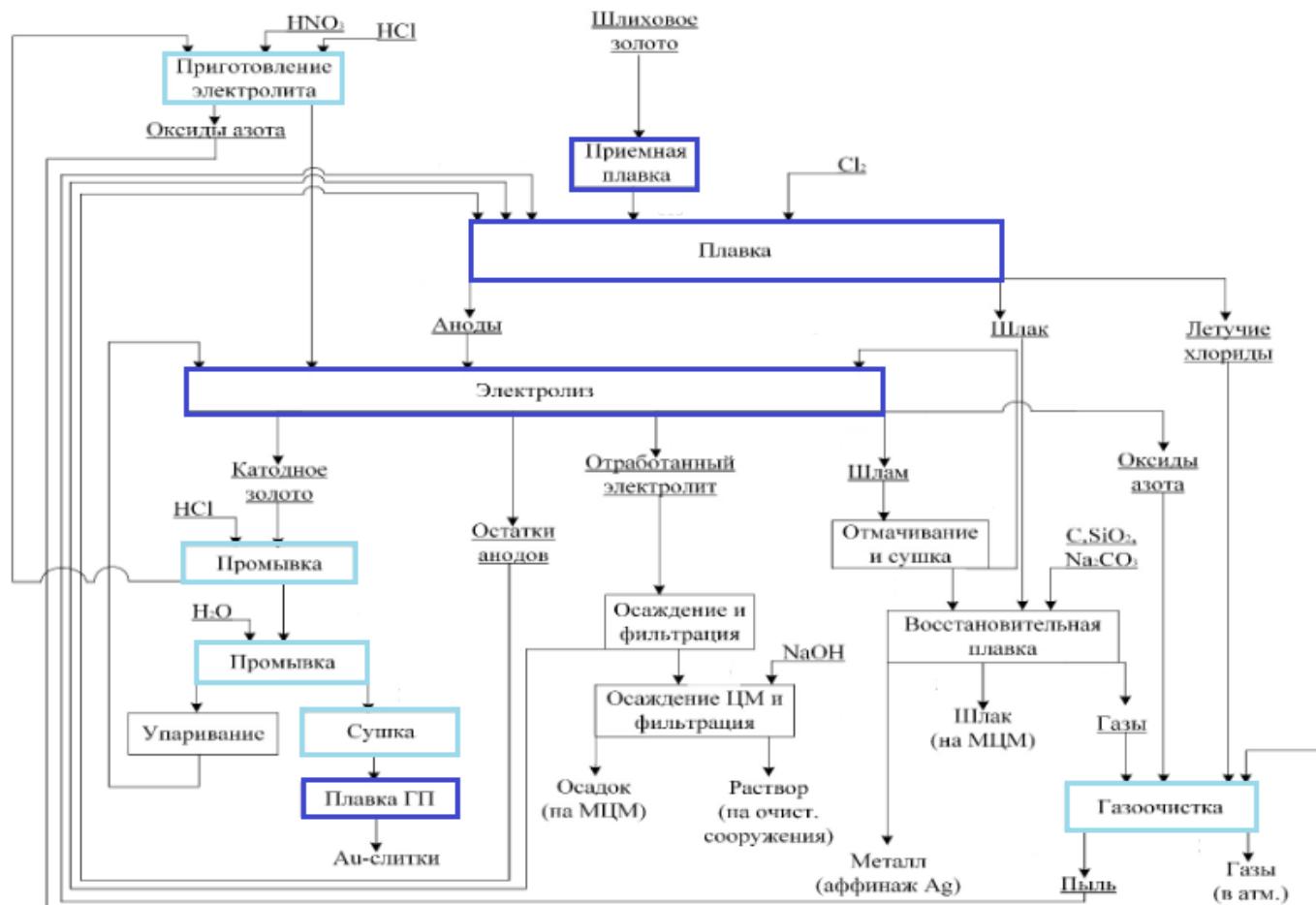


Рисунок 7 - Технологическая схема производства золота

2.2.1 Приемная плавка

Исходным материалом для переработки на аффинажном заводе является шлиховое золото, получаемое в результате обогащения россыпных и рудных месторождений (рис. 8). Так же в качестве исходного сырья поступают вторичные золотосодержащие отходы (электронный, ювелирный лом).



Рисунок 8– Исходное сырье аффинажа - шлиховое золото

В состав сырья, помимо золота и серебра, входят другие цветные металлы в виде сопутствующих примесей: медь, свинец, железо и прочие элементы (табл. 2). Иногда поступающее сырье может содержать значительное количество металлов платиновой группы [67].

Помимо шлихового золота, аффинажные предприятия принимают к переработке вторичные материалы и отходы других производств с содержанием драгоценных металлов. К ним относятся шламы и осадки технологических процессов, отработанные активные угли, бытовой и промышленный лом, монеты, отходы стоматологического производства, электронный скрап и прочие виды сырья.

Таблица 2 – Состав исходного сырья, %

Компонент	Содержание, %
Au	75
Ag	10
Fe	0,5
Cu	0,5
Прочие	14

Первой технологической операцией на аффинажном заводе является приемная плавка поступающего сырья. Её основное назначение — усреднение состава и отбор представительных проб из нескольких партий поступившего материала. Данный процесс осуществляется в графитовых тиглях, которые помещаются в индукционные электросталеплавильные печи [67].

В основе метода приемной плавки лежит совместная загрузка и нагрев исходного материала с флюсами в печи, который продолжается до полного перехода металлических компонентов в жидкое состояние и формирования на его поверхности подвижных шлаков. По завершению газовыделения, получения полного расплавленного материала и температуры в диапазоне 1100–1150 °С, расплав разливают в изложницы для получения готовых слитков.

Отбор пробы для аналитического контроля осуществляется непосредственно из печи в момент индукционного перемешивания расплава. Последующее быстрое охлаждение образца обеспечивает высокую однородность металла, что является важным фактором для точного химического анализа и корректного учёта количества драгоценных металлов.

С целью минимизации потерь благородных металлов за счёт возгонки процесс ведут под защитным слоем шлака, применяя в качестве флюса соду и буру (в количестве 1,5–3% от массы шихты). Для достижения той же цели строго контролируют температурный режим, исключая излишний перегрев. Температура плавки сплавов золота и серебра поддерживается в диапазоне

1150–1200 °C. В зависимости от последующего метода аффинажа, расплав направляют либо на разливку в слитки для аффинажа хлорированием, либо на отливку анодов для электролитического рафинирования [68].

2.2.2 Хлорная плавка по методу Миллера

Технология хлорного рафинирования использует свойство хлора избирательно взаимодействовать с различными металлами. В процессе хлорирования барботируемый через расплав чернового золота газообразный хлор последовательно взаимодействует с примесями: в первую очередь — с неблагородными металлами и серебром, и только после их удаления — с основным золотом и платиноидами. Образовавшиеся расплавленные хлориды формируют поверхностный шлаковый слой, отделяясь от благородного металла, в то время как летучие соединения удаляются потоком отходящих газов.

Исходный металл, направляемый на аффинаж, имеет состав: 88–90 % золота, 7–11 % серебра. Основные примеси представлены медью, свинцом, железом и цинком.

Технологический процесс осуществляют в индукционных печах, оснащённых графитовыми тиглями с корундовой футеровкой. Черновой металл в виде слитков после приемной плавки загружают в тигель, ёмкость которого составляет 250 кг. [68].

Хлорирование расплавленного шлихового золота проводят в индукционных печах ИСТ-0,25 (рис.9).

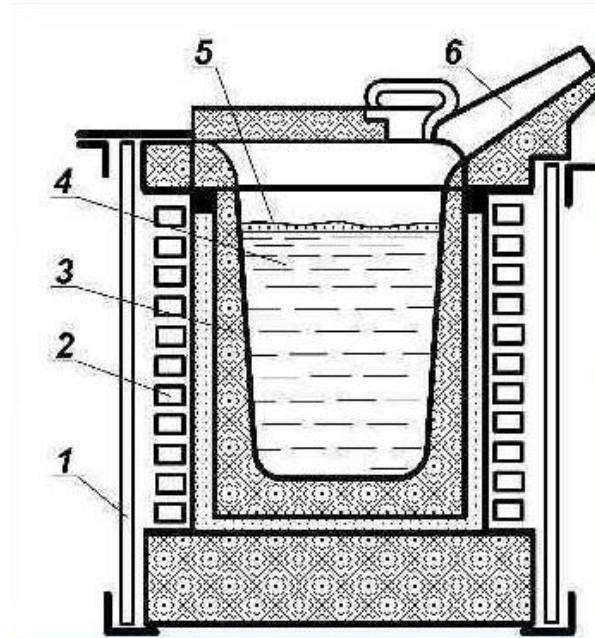


Рисунок 9 – Индукционная печь ИСТ-0,25

(1 – кожух печи; 2 – охлаждаемый индуктор; 3 – тигель; 4 – расплавленный металл; 5 – шлак; 6 – желоб для выпуска металла)

Основные технологические характеристики используемой индукционной печи представлены в табл.3.

Таблица 3 – Основные технологические характеристики процесса Миллера

Характеристика	Значение
Номинальная емкость, кг	250
Потребляемая мощность, кВт	320
Время процесса, ч	4
Температура процесса, °C	1150–1200

Помимо достаточно высоких показателей технических характеристик печи (мощность и высокие температуры процесса), к основным опасностям здесь можно отнести возможность разгерметизации водоохлаждающей

системы и разрушение футеровки печи, которые неминуемо приводят к аварии в случае возникновения контакта вода-расплав.

Давление газа устанавливается вручную, хлор подается автоматически для того, чтобы поддерживать установленное давление газа в течение всего процесса. Использование хлора позволяет ускорить кинетику процесса, повысить устойчивость золотых комплексов и тем самым сократить потери сопутствующих драгоценных металлов [69]. Контролирование процесса подачи хлора обеспечивается измерением температуры расплава с помощью термопары, прикрепленной к трубке подачи газа. Каждая примесь вступает в реакцию с хлором в определенной последовательности и характеризуется определенной теплотой реакции, поэтому температурный профиль расплава регистрирует продолжительность каждой реакции. Золото, будучи более химически инертным, реагирует с хлором в последнюю очередь.

Конструкцией предусмотрен водоохлаждаемый индуктор из меди, внутри которого находится тигель, загружаемый исходным материалом. Принцип индукционного нагрева основан на явлении передачи энергии электромагнитного поля от индуктора проводящему материалу, в результате чего в последнем возбуждаются вихревые токи Фуко, обеспечивающие его нагрев с последующим переходом в расплавленное состояние. Индуктор выполнен в виде полой медной конструкции с профилем прямоугольного сечения.

Механизм наклона печи реализован за счет поворота всей платформы посредством реверсивного электродвигателя, кинематическая связь с которым обеспечена зубчатой передачей. Фиксация крайних положений печи (верхнего и нижнего) осуществляется концевыми выключателями.

Управление режимом плавки производится вручную на панели тиристорного преобразователя, которое заключается в поддержании номинального напряжения на входе преобразователя на протяжении всего процесса.

Печь снабжена сигнализатором состояния изоляции индуктора. В случае падения давления в системе водного охлаждения или резкого повышения температуры воды, автоматически отключается питание печи и срабатывает звуковой сигнал.

На печи также находятся бортовые отводы принудительной вытяжной вентиляции для удаления отработанных газов, образующихся при плавке.

Для формирования шлака в тигель вводится добавка в виде флюса, представляющего собой смесь буры, кварцевого песка и хлористого натрия. Образующаяся на поверхности расплава тонкая шлаковая пленка минимизирует потери металла за счет возгонки и выполняет защитную функцию, предохраняя материал тигля от коррозионного разрушения.

По мере накопления хлоридных соединений на металлической поверхности, а также отработанного шлака, производится их периодическое удаление из реакционной зоны с последующим внесением свежей порции флюсующего состава. Завершение процесса определяют визуально по двум ключевым индикаторам: образованию на газоподводящих трубках налёта желтого цвета, состоящего из металлического золота, и появлению над расплавом облака газов красно-буровой окраски, вызванной присутствием летучего хлорида золота (AuCl_3).

Смесь хлоридов и шлака содержит значительное количество запутавшихся в них корольков золота. Для извлечения золота ее плавят в тиглях при $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ с добавлением соды около 4 %. При этом часть серебра восстанавливается. Стекая на дно, оно захватывает большую часть золота из хлоридов. Полученный серебрянозолотой сплав вновь поступает на хлорирование с новой партией золота. Затем очищенный расплав разливают в маленькие изложницы, тем самым получают аноды, которые затем помещаются в электролизную печь.

Процесс Миллера (хлорная плавка) подразумевает простоту и экономичность реализации, скорость процесса, пригоден для первичной переработки больших партий сырья, но при этом из недостатков можно

отметить –недостаточно чистое золото (99,5-99,6 % содержания золота) и наличие газообразного хлора, что ведет к усилению мер безопасности при ведении технологического процесса [70].

2.2.3 Электролиз с применением раствора «царская водка»

Основной задачей электролитического рафинирования является аффинация золота до состояния высокой чистоты с получением катодного осадка. Физико-химической основой метода выступает различие значений электродных потенциалов золота и сопутствующих ему металлов-примесей.

Электролитом является «царская водка» - смесь концентрированных соляной (HCl) и азотной (HNO₃) кислот в соотношении 3:1. Жидкость имеет жёлто-оранжевый цвет, обладает едким запахом, $t_{\text{кип}} 108^{\circ}\text{C}$, плотность 1,01–1,21 г/см³. Обладает сильной окислительной способностью, обусловленной выделением хлора. В целях предотвращения самопроизвольного разложения и потери реакционной способности приготовление смеси осуществляется непосредственно перед началом технологической операции.

Азотная кислота окисляет соляную, при этом возникают два активных вещества: хлор и нитрозилхлорид, которые могут растворить золото:

Золотохлористоводородная кислота H[AuCl₄] является сильной и полностью диссоциирует на ионы. На аноде происходит растворение рафинируемого сплава с переходом золота в раствор [71].

Соблюдение всех технологических параметров позволяет достигнуть выхода по току не ниже 95 %. Снижение уровня свободной соляной кислоты в электролитической ванне ниже 50 г/л является нежелательным, так как способствует накоплению ионов одновалентного золота при анодном растворении. Накопленные ионы Au⁺ могут подвергаться растворению посредством реакции:



Электролиз с использованием «царской водки» проводится в титановых электролизерах (рис. 10)

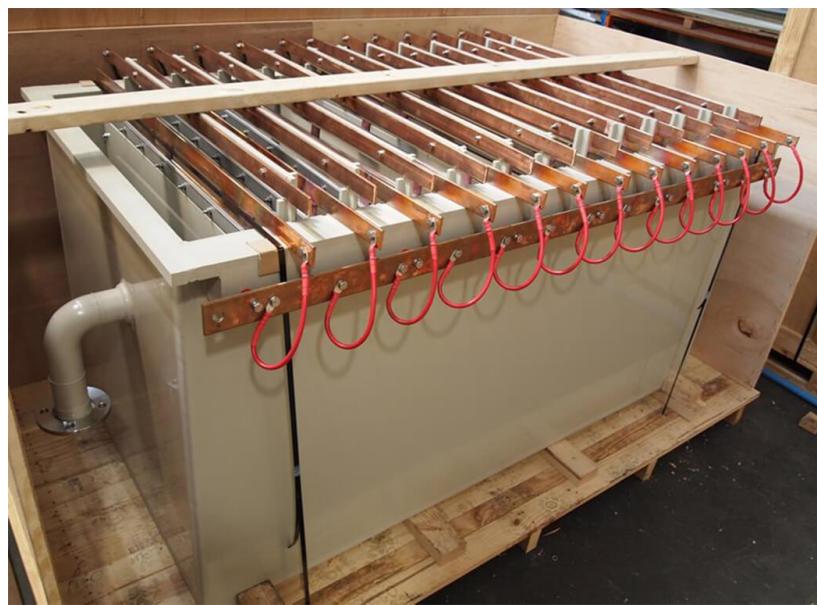


Рисунок 10 – Электролизер

Основные технологические параметры процесса электролиза с применением «царской водки» представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Основные технологические характеристики электролиза

Параметры	Значение
Объем электролизной ванны, л	25
Количество золотых анодов, шт	14
Количество титановых катодов, шт	16
Сила тока, А	1000–2000
Катодная плотность тока, А/м ²	800–1400
Напряжение на ванне, В	2,20 -3,00

Продолжение табл.4

Параметры	Значение
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	1354,00
Выход по току, %	73,00
Качество катодного золота, %	99,99
Время электролиза, ч.	12,00
Температура электролита, °С	Не выше 70
Расход HCl, л/т ГП	340,00
Расход HNO ₃ , л/т ГП	57,00

Предварительно приготовленный царсководочный электролит («царская водка» с добавлением 1/4 части отработанного электролита) поступает в электролизную ванну, и завешиваются аноды на растворение. Часть золота накапливается в анодном шламе, что снижает выход по току и тем самым загрязняет серебросодержащий шлам золотом.

В качестве анодов используют литые пластины из золота после хлорирования. Аноды помещаются в чехлы из фильтрткани хлорин, чтобы избежать пассивации анода образующимся хлоридом серебра.

В качестве катодов используют шлифованные титановые пластинки с изолированными краями для облегчения съема катодного золота. В качестве изоляторов используются полипропиленовые трубы диаметром 10–12 мм, разрезанные с одной стороны вдоль оси.

На катоде происходит осаждение золота в форме плотного блестящего слоя. Частота выгрузки катодов составляет 3–4 раза в сутки и корректируется в зависимости от применяемой плотности тока.

Концентрация HCl в электролите зависит от содержания серебра в анодах и поддерживается в пределах 130 – 160 г/л. Содержание примесей в электролите не должно превышать, г/л: до 40,0 Pd, до 60 Cu, до 30 Fe. При превышении концентрации любой из примесей наблюдается восстановление ее на катодах. Во избежание загрязнения катодного металла электролит

периодически полностью меняют или меняют путем отбора части насыщенного примесями электролита и добавления «царской водки». Отобранные части электролита направляют на электроэкстракцию для доизвлечения золота [72].

Температурный режим электролита в ванне контролируется и поддерживается на уровне, не превышающем 70 °С. Для предотвращения коррозионного разрушения электролизера в случае перегрева применяется система принудительного охлаждения электролитической ванны. Помимо этого, с целью обеспечения однородности температуры по всему объему рабочей среды осуществляется ее регулярное механическое перемешивание.

В ванну на растворение завешиваются 14 золотых анодов и 16 титановых катодов. Периодически из ванны удаляется анодный шлам, заменяются аноды и отработанный электролит. Данный период составляет около 12 часов, после которого аноды приходят в негодность и нуждаются в замене.

Процессы растворения металлов в «царской водке» сопровождаются интенсивным выделением оксидов азота, поэтому ванны снабжены бортовыми отсосами принудительной вытяжной вентиляции.

В процессе электролиза получают:

- катодное золото;
- остатки анодов;
- анодный шлам;
- отработанный электролит.

Катодное золото:

Промывается соляной кислотой и водой, просушивается и поступает на плавку готовой продукции, которая представлена в виде слитков, анодов, пластин и гранул. Сушка катодного золота проводится в сушильных шкафах при температуре 500 °С. Для съема катодного осадка используется приспособление в виде винипластового короба с фиксирующими канавками для катода.

Остатки анодов:

Возвращаются на хлорирование.

Анодный шлам:

Промывается на ситах для разделения по крупности. Фракция с более высоким размером частиц направляется на повторное хлорирование, а мелкодисперсная фракция поступает на переплав с добавлением соды. В результате плавки образуется черновое серебро, которое в дальнейшем служит сырьем для технологического процесса аффинажа.

Отработанный электролит:

Направляется на стадию электролиза, осуществляемую в электролизере с титановым корпусом. В качестве нерастворимых анодов применяются графитовые электроды, а осаждение металла происходит на титановых катодах. Отработанный электролит, содержащий платиновые металлы, передается на следующий технологический передел для их извлечения и аффинажа.

2.2.4 Плавка готовой продукции

Формование готовых слитков производится путем разливки расплава в предварительно подготовленные чугунные изложницы. Подготовка включает прокаливание форм до температурного диапазона 500–550°C с нанесением специальных технологических смазок. Изложницы, предназначенные для приема металла из плавильных печей, должны быть на идеально ровном основании, не имеющем уклонов и механических повреждений. Использование дефектных и влажных форм строго запрещено во избежание возникновения рисков взрыва и пожара.

Несмотря на высокую температуру, расплав золота обладает свойством быстрой кристаллизации, завершающейся за считанные секунды. Для обеспечения формирования гладкой, беспористой поверхности слитка применяется методика прогрева его верхней части пламенем пропан-воздушной горелки, что создает условия для медленного и направленного

затвердевания. После окончания кристаллизации слиток извлекается из формы и подвергается резкому охлаждению в водяной ванне.

Контроль качества осуществляется на основе средней пробы, отбираемой от всех навесок, загруженных в печь в течение одной плавочной кампании. Данную пробу переплавляют в режиме, полностью имитирующем промышленную разливку. Полученные опытные слитки маркируют и механически зачищают. После проведения лабораторного анализа и визуальной приемки внешнего вида, мерные слитки направляются на финальное взвешивание и упаковку.

2.3 Идентификация опасностей для основных этапов производства золота

В процессе реализации технологической схемы на здоровье человека могут оказывать опасные и вредные производственные факторы, которые могут стать источниками аварий на производстве, в результате которых вероятны случаи производственного травматизма и летального исхода.

На этапе идентификации опасностей необходимо:

- идентифицировать источники и причины потенциальных аварий, обусловленных разрушением конструкций или технических систем опасного производственного объекта, а также неконтролируемыми выбросами и взрывами опасных веществ;
- провести разделение ОПО на основные производственные переделы, выделить характерные причины возникновения аварий на каждом участке;
- определить основные типы аварий с их предварительной оценкой и ранжированием.

При оценке уровня потенциальной опасности на производстве золота учитывается наличие следующих опасных факторов:

- электрический ток;
- наличие грузоподъемных механизмов, технических устройств, падение грузов;
- термический фактор (высокие температуры, тепловое излучение);

- расплавленный металл;
- наличие систем охлаждения с водой (и риск её попадания в расплав);
- выбросы отходящих газов, часто содержащих токсичную или взрывоопасную пыль;
- наличие в технологическом цикле и на складах агрессивных химикатов (кислот, щелочей), а также взрывчатых и горючих материалов.
- сосудов под давлением.

Представленный перечень может быть скорректирован в зависимости от конкретного участка/предприятия золота, учитывая специфику технологических процессов, используемого на участках оборудования и веществ. Основные и вспомогательные процессы и соответствующее технологическое оборудование были определены на основании информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям для производства драгоценных металлов [73].

Первично была проведена идентификация источников опасности процесса получения аффинированного золота с выделением основных процессов и вспомогательных операций (табл. 5) [74]. Графическая идентификация опасностей представлена в Приложении А.

Таблица 5 – Характерные опасности для основных процессов при производстве золота

Этап технологического процесса получения золота	Наименование опасности	Аварии/Инциденты
Приемная плавка	Полное или частичное отключение электроэнергии	Остановка технологического процесса Перегрев оборудования
	Разрушение футеровки индукционной печи	Остановка работы печи Взрыв при контакте воды с расплавом
	Выброс расплава	Пожар
	Нарушение гидроизоляции в системе водоохлаждения	Взрыв в результате попадания воды в расплав
	Использование грузоподъемных механизмов, технических устройств, падение грузов	Разрушение технологического оборудования, сооружений

Продолжение табл.5

Этап технологического процесса получения золота	Наименование опасности	Аварии/Инциденты
Хлорная плавка (процесс Миллера)	Полное или частичное отключение электроэнергии	Остановка технологического процесса
	Разрушение футеровки индукционной печи	Остановка работы печи
	Применение газообразного хлора	Взрыв в следствие подачи хлора большими дозами и активного бурления массы
	Выброс расплава	Пожар
	Нарушение гидроизоляции в системе водоохлаждения	Взрыв в результате попадания воды в расплав
	Использование грузоподъемных механизмов, технических устройств, падение грузов	Разрушение технологического оборудования, сооружений
Электролиз в «царской водке»	Наличие азотной и соляной кислот	Неконтролируемый выброс кислот в результате разгерметизации трубопроводов подачи кислот
	Полное или частичное отключение электроэнергии	Остановка технологического процесса
	Поломка электродов	Остановка процесса электролиза
	Наличие химической агрессивной среды	Коррозия оборудования
	Перегрев электролита	Нарушение гидроизоляции электролизной ванны
Плавка готовой продукции	Наличие азотной и соляной кислот	Коррозия оборудования
	Полное или частичное отключение электроэнергии	Остановка технологического процесса
	Выброс расплава	Пожар
	Использование грузоподъемных механизмов, технических устройств, падение грузов	Разрушение технологического оборудования, сооружений
	Разрушение футеровки индукционной печи	Остановка работы печи
	Нарушение гидроизоляции в системе водоохлаждения	Взрыв в результате попадания воды в расплав
	Наличие влаги в изложницах	Разбрзгивание расплава
		Взрыв
		Пожар
	Наличие дефектов изложниц	Взрыв
		Пожар

2.4 Идентификация опасностей для вспомогательных этапов производства золота

В технологии производства золота применяются высококонцентрированные кислоты (соляная, азотная), щелочи, сжиженные газы и другие агрессивные реагенты. Порядок их транспортировки, складирования и приготовления рабочих растворов детально регламентирован специальными инструкциями, неукоснительное выполнение которых является обязательным условием безопасного ведения технологического процесса. Производственные помещения относятся к режимным и оснащены в соответствии со стандартами обеспечения сохранности. Каждое из них оборудовано системой приточно-вытяжной вентиляции, дополненной локальными отсосами от оборудования.

Для вспомогательных процессов также проведена идентификация опасностей (табл. 6).

Таблица 6 – Характерные опасности для вспомогательных технологических операций при производстве золота

Этап технологического процесса получения золота	Наименование опасности	Аварии/Инциденты
Приготовление электролита	Наличие соляной и азотной кислот	Пожар Взрыв
	Наличие воды под высоким давлением	Разрывы шлангов и трубопроводов Механические повреждения
Промывка катодного золота (соляная кислота, вода)	Наличие соляной кислоты	Разрушение трубопроводов, оборудования
	Наличие высокой температуры	Возгорание Повреждение оборудования из-за перегрева
Сушка (электропечь)	Засорение фильтра	Повреждение рукавов
	Перегрев фильтра	Разрушение материалов фильтра
	Наличие воды и химических реагентов в технологических процессах	Коррозия оборудования

Продолжение табл.6

Этап технологического процесса получения золота	Наименование опасности	Аварии/Инциденты
Газоочистка (рукавный фильтр)	Засорение фильтра	Повреждение рукавов
	Перегрев фильтра	Деформация и разрушение материалов фильтра
	Наличие воды и химических реагентов в технологических процессах	Коррозия оборудования
Газоочистка (скруббер)	Перегрев скруббера	Выход из строя насосов Остановка работы газоочистной системы
	Наличие воды и химических реагентов в технологических процессах	Коррозия оборудования
	Забивание форсунок	Нарушение равномерной подачи воды
	Наличие жесткой или загрязненной воды	Образование отложений на стенках скруббера Коррозия оборудования
	Нарушение условий хранения газообразного хлора	Пожар Взрыв
Хранение опасных и вредных веществ	Нарушение условий хранения соляной и азотной кислот	Пожар Взрыв

Выводы по главе 2

1. Согласно доступным официальным статистическим данным, динамика добычи и производства золота в России сохраняет положительную тенденцию к росту за счет разработок новых месторождений, ввода в эксплуатацию предприятий по переработке золотосодержащих руд. Производство золота имеет свою специфику из-за использования в технологических процессах дорогостоящего оборудования, вредных токсичных реагентов, трудоемкости процессов и высоких энергозатрат на них, неблагоприятный микроклимат производственных помещений. Также предприятия по производству золота имеют высокий уровень секретности, в связи с чем внутри предприятия создаются дополнительные контрольно-пропускные пункты, которые в случае аварии могут стать препятствием при эвакуации персонала.

2. Рассмотрена принципиальная технологическая схема аффинажа золота. Приведен перечень используемого оборудования, их технические характеристики.

3. Проведена идентификация источников опасности на производстве получения золота с выделением основных переделов и вспомогательных операций. К наиболее распространенным опасностям можно отнести: выброс расплава; полное или частичное отключение электричества; использование грузоподъемных механизмов, технических устройств, падение грузов; нарушение гидроизоляции в системе водоохлаждения.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ПРОИЗВОДСТВА ЗОЛОТА

3.1 Определение критериев опасности для процесса производства золота

Ключевым направлением совершенствования риск-менеджмента является внедрение целостной системы управления рисками. Это требование является первостепенным для отраслей тяжелой промышленности, таких как металлургия, поскольку на подобных производствах аварии потенциально влекут за собой значительный технологический, социальный и экологический ущерб. В связи с этим, была разработана методика оценки риска аварий, включающая идентификацию опасностей для технологического процесса производства золота, и определением характерных производству критериев. За основу для разработанной методики была взята балльно-факторная оценка, представленная в Руководстве по безопасности № 454, утвержденным приказом Ростехнадзора от 22.12.2022 г [33]. Для разработки методики был выбран балльно-факторный подход как наиболее подходящий для оценки риска аварий на производстве золота по нескольким причинам:

- ✓ возможность оценить и учесть все опасности производства золота для каждого конкретного участка технологической схемы;
- ✓ использование балльной оценки позволяет количественно оценить возможные риски производства, определить наиболее уязвимые участки и, тем самым, приоритизировать меры по управлению рисками;
- ✓ данный метод понятен в использовании, его результаты можно визуализировать в виде таблиц или графиков, что позволяет наглядно продемонстрировать текущую ситуацию руководству или персоналу.

Основной задачей идентификации опасностей аварий является выявление и описание источников опасностей аварий (для всех технологических этапов производства), и возможных сценариев их реализаций.

В разработанном методе оценки риска аварий представлена группировка критериев в соответствии с источниками аварий, которые были выявлены на основании анализа технологических процессов получения золота и статистических данных по аварийности в металлургической отрасли.

Предварительно причины аварий на производстве были разделены на 5 групп с указанием доли каждой группы Γ_{pi} с помощью коэффициента p_i .

Были выделены пять групп критериев:

- а) природные;
- б) технологические;
- в) конструктивные;
- г) непреднамеренный человеческий фактор;
- д) преднамеренный человеческий фактор [74].

В каждой из рассматриваемых групп Γ_{pi} содержится разное число критериев $J_{i,j}$. Каждомуциальному критерию $F_{i,j}$ присвоено уникальное обозначение, где индекс i указывает на принадлежность к группе, а индекс j идентифицирует сам критерий внутри неё.

Методом экспертной оценки для всех возможных сценариев критерия $F_{i,j}$, отражающих степень опасности наступления соответствующего события, была установлена балльная оценка $B_{i,j}$. Данная оценка, выраженная в единицах по 10-балльной шкале, количественно характеризует значимость (или вес) этого критерия.

Распределение значений коэффициентов p_i по различным группам критериев определено методом экспертной оценки, ранжировано и представлено в таблице 7.

Таблица 7 – Распределение значений коэффициентов p_i по различным группам причин аварий

Наименование группы		Доля группы, p_i
Γ_4	Непреднамеренный человеческий фактор	0,244
Γ_3	Технологические	0,235
Γ_2	Конструктивные	0,209
Γ_5	Преднамеренный человеческий фактор	0,177
Γ_1	Природные	0,135

Согласно полученному результату по значимости групп критериев можно сделать вывод о том, существующие производственные проблемы, ошибки, связанные с человеческим фактором, в наибольшей степени могут влиять на аварийность предприятий по производству золота в сравнении с внешними природными факторами.

3.1.1 Обоснование группы критериев «Природные».

Согласно статистическим данным [75-76] за период 2020 – 2024гг., на природные аварии приходится порядка 40% от общего числа чрезвычайных ситуаций (ЧС). При этом количество пострадавших людей и ущерб в результате природных ЧС значительно выше, чем при техногенных.

Группа «Природные» содержит критерии, связанные с преобладающими природными явлениями на территории страны (рис.11). Наименования критериев группы определены на основании типового перечня гидрометеорологических явлений [77]. Под «комплексом неблагоприятных явлений» подразумеваются одновременные события типа сильных ветров, заморозков, градов, туманов и др.

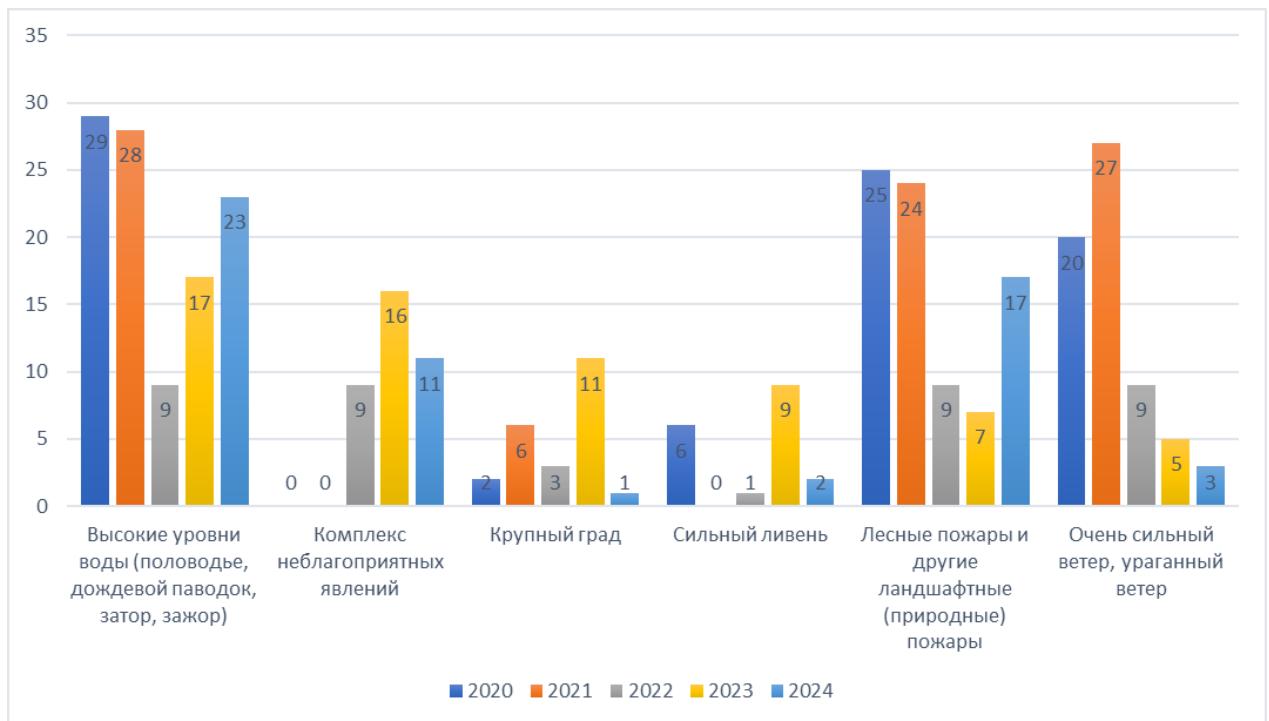


Рисунок 11 – Преобладающие природные гидрометеорологические явления на территории России за период 2020 – 2024 гг.

Согласно Постановлению Правительства РФ [66], на сегодняшний день осуществлять аффинаж драгоценных металлов, в том числе золота, могут 12 предприятий:

- 1) Акционерное общество «Приокский завод цветных металлов», г. Касимов, Рязанская область;
- 2) Акционерное общество «Новосибирский аффинажный завод», г. Новосибирск;
- 3) Акционерное общество «Щелковский завод вторичных драгоценных металлов», г. Щелково, Московская область;
- 4) Открытое акционерное общество «Красноярский завод цветных металлов имени В.Н. Гулидова», г. Красноярск;
- 5) Акционерное общество «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов», г. Верхняя Пышма, Свердловская область;
- 6) Акционерное общество «Кыштымский медеэлектролитный завод», г. Кыштым, Челябинская область;

- 7) Акционерное общество «Уралэлектромедь», г. Верхняя Пышма, Свердловская область;
- 8) Акционерное общество «Московский завод по обработке специальных сплавов», г. Москва;
- 9) Публичное акционерное общество «Горно-металлургическая компания «Норильский никель», г. Дудинка, Красноярский край;
- 10) Акционерное общество «Уральские Инновационные Технологии», г. Екатеринбург, Свердловская область;
- 11) Акционерное общество «КВАРТ», поселок городского типа Красное-на-Волге, Красносельский район, Костромская область;
- 12) Общество с ограниченной ответственностью «НПО АВРОРА», г. Мценск, Орловская область.

Аффинажные предприятия расположены в 7 регионах страны: (Московская, Рязанская, Челябинская, Свердловская, Костромская и Орловская области, Красноярский край) (рис.12), которые входят в три федеральных округа страны: Центральный, Сибирский и Уральский.

Центральный федеральный округ (Московская, Рязанская, Орловская и Костромская области) характеризуется умеренно-континентальным климатом с выраженной сезонностью. Лето теплое, зима холодная, снежная. Характерны обильные осадки как летом в виде дождей, так и зимой в виде снега, регулярные дождевые паводки и половодья [78].

Уральский федеральный округ (Челябинская и Свердловская области) имеет резко континентальный климат с большими суточными и сезонными колебаниями температуры воздуха. Холодная суровая зима, короткое сухое жаркое лето. Годовое количество осадков неравномерно, больше выпадает весной и осенью.

Сибирский федеральный округ (Красноярский край) отличается крайне резким континентальным климатом с длительными зимними периодами и короткими экстремально жаркими летними сезонами. Большие амплитуды температур, значительные контрасты давления создают характерные погодные

аномалии. Основные осадки приходятся на весенне-летний период. Высокий уровень воды является характерным признаком, так как большая площадь территории занята водосборными бассейнами крупных сибирских рек (Енисей). Частые наводнения, крупные заторы льда, сильное весеннее половодье [79].



Рисунок 12 – Регионы расположения аффинажных предприятий на карте России (1 – *Москва и Московская область*; 2 – *Рязанская область*; 3 – *Костромская область*; 4 – *Орловская область*; 5 – *Челябинская область*; 6 – *Свердловская область*; 7 – *Красноярский край*)

Региональные различия гидрометеорологических характеристик объясняются географическим положением областей относительно водных и лесных массивов, наличием крупных горных систем и направлением циркуляционных процессов атмосферы. Эти факторы определяют разнообразие климатических зон и типов метеорологической активности внутри указанных субъектов федерации [79-82].

Таким образом, были определены следующие критерии группы «Природные» (табл.8) и их значимость.

Таблица 8– Группа критериев 1 «Природные»

Наименование критерия		Доля критерия в группе, q_i
F_{I-1}	Высокие уровни воды (половодье, дождевой паводок, затор, зажор)	0,250
F_{I-2}	Комплекс неблагоприятных явлений	0,241
F_{I-5}	Очень сильный ветер, ураганный ветер	0,160
F_{I-6}	Лесные (и другие природные) пожары	0,142
F_{I-4}	Сильный ливень	0,131
F_{I-3}	Крупный град	0,076

3.1.2 Обоснование группы критериев «Технологические»

Критерии группы «Технологические» были определены, исходя из:

- общих сведений об осуществляемой деятельности предприятий;
- технологической схемы производства золота;
- перечня основных и вспомогательных технологических процессов (раздел 2.4 диссертационной работы);
- перечня производственного оборудования, его технологических параметров;
- справочных материалов, содержащих описание вредных и опасных веществ [83].

Для плавления шихты, получения слитков и проведения рафинировочных операций при аффинаже золота используют индукционные тигельные печи ИСТ [84]. В таблице 9 приведены основные технические характеристики индукционных печей, предназначенных для плавки металлов различных объемов.

Таблица 9— Индукционные тигельные печи и их технические характеристики

Технические характеристики печи	Индукционные печи ИСТ					
	ИСТ-0,1	ИСТ-0,25	ИСТ-1	ИСТ-2,5	ИСТ-6	ИСТ-10
Емкость печи, т	0,1	0,25	1	2,5	6	10
Мощность печи, кВт	100	320	790	2350	2330	3200
Максимальная температура процесса, °С	1500	1600	1650	1600	1650	1650
Максимальная производительность, кг/ч	100	320	1330	4000	3500	5000

Среднесуточная производительность современного предприятия по аффинажу драгоценных металлов составляет от 150 до 250 килограммов золота [70]. Поэтому из представленного ряда печей ИСТ была выбрана печь наиболее подходящей емкости ИСТ-0,25, рассчитанная на расплав массой 250 кг.

Для золота и его сплавов с примесями температура плавления составляет $\sim 1064^{\circ}\text{C}$. Однако для некоторых рафинировочных процессов может требоваться более высокая температура. Все представленные печи обеспечивают температуру до $1500\text{--}1650^{\circ}\text{C}$, что является избыточным для чистой плавки, но обеспечивает технологический запас.

Для электролиза золота используют ванны малой ёмкости (20–65 л), выполненные из материалов, стойких к электролиту, — фарфора или винипластика. На российских предприятиях в основном используются фарфоровые электролизёры объёмом 25 литров.

Процесс электролиза ведут при плотности тока $170\text{--}200 \text{ A/m}^2$, тепловой баланс ванны устанавливается при 60°C , при 250 A/m^2 температура электролита повышается до 65°C , а при $340\text{--}360 \text{ A/m}^2$ она достигает $75\text{--}78^{\circ}\text{C}$. Однако температуры выше 70°C применять нецелесообразно, так как

становятся значительными потерями электролита за счет испарения и брызгоноса, кроме того, ухудшаются условия труда для работников производства.

При производстве золота, в частности аффинаже золота, используются вредные и опасные вещества, такие, как хлор (газ) (хлорная плавка), серная и соляная кислоты (электролиз в царско-водочном растворе).

Хлор (Cl_2)

Хлор – активный неметалл, сильный окислитель. Взаимодействует практически со всеми металлами (часто со взрывом или воспламенением). Хлор хранят и перевозят в сжиженном состоянии под давлением в специальной таре.

В качестве тары используют стальные баллоны, цистерны, танки, изготовленные из специальных сталей, устойчивых к «хлорному растрескиванию» (например, с повышенным содержанием никеля и молибдена). Внутренняя поверхность не должна иметь дефектов. Запрещено использовать обычную углеродистую сталь, так как влажный хлор вызывает ее быструю коррозию. Баллоны окрашивают в защитный зеленый цвет с поперечной полосой фиолетового цвета. Наносится четкая надпись «ХЛОР» или «CLORINE».

Условия хранения хлора также имеют свою специфику.

- в специальных помещениях или на открытых площадках под навесом, защищающим от солнечных лучей и нагрева;
- температура в помещении не должна превышать $+35^{\circ}C$;
- баллоны должны быть надежно закреплены в вертикальном положении с навинченными защитными колпаками;
- хранить отдельно от баллонов с горючими газами (H_2 , NH_3 , углеводороды), от восстановителей, сжатого воздуха, кислорода и складов горючих материалов;

- помещение должно быть оборудовано принудительной вентиляцией и средствами для аварийной нейтрализации утечек (установки с щелочным раствором, например, NaOH или $\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Соляная кислота (HCl)

Бесцветная или слегка желтоватая жидкость (техническая кислота может иметь зеленоватый оттенок из-за примесей). Очень летучая, с удушливым резким запахом хлороводорода. Концентрированная кислота «дымит» на воздухе из-за образования мельчайших капель тумана с влагой воздуха.

Необходимо хранить в прохладном, хорошо вентилируемом помещении, защищенном от солнечных лучей. Обязательно плотно закрытые емкости из-за летучести. В качестве материала для стаканов используют стекло (боросиликатное), полиэтилен, полипропилен, сталь, покрытая резиной или фторопластом, металлические емкости из специальных сплавов. При этом не допускается хранение в обычной стали.

Азотная кислота (HNO_3)

Бесцветная жидкость с едким, удушливым запахом, также летучая и «дымит» на воздухе. Обладает ярко выраженными окислительными свойствами за счет содержания в ней азота. Взаимодействует почти со всеми металлами (кроме золота, платины, тантала, родия, иридия), но не выделяет водород. При смешивании с органическими веществами возможно возгорание либо взрыв. Пары кислоты очень токсичны, необходимо работать при хорошей вытяжной системе, кроме того, необходимы средства индивидуальной защиты, закрывающие руки, лицо, глаза.

Азотная кислота хранится в специальной таре, выполненной из стекла (темное боросиликатное), алюминия (для концентрированной кислоты $>80\%$) или специальной стали (кислотостойкие хромоникелевые сплавы). Хранить кислоту необходимо в прохладном месте (иногда при пониженных температурах), защищенном от света (желательно в темной таре), в отдельном

огнестойком боксе. Хранить отдельно от органических веществ, восстановителей, легковоспламеняющихся материалов.

Наличие и объемы этих опасных веществ являются важными факторами при оценке риска аварий на предприятиях по производству золота, поскольку они также могут повлиять на масштаб и тяжесть последствий в случае аварии. Учет их количества и условий хранения обязателен, так как их разлив или утечка (особенно хлора в газообразной форме) могут привести к взрывам, коррозионному разрушению оборудования, загрязнению окружающей среды, химическим ожогам, отравлениям персонала, тем самым увеличивая тяжесть любой техногенной аварии.

На основании вышесказанного, была сформирована группа критериев «Технологические» (табл.10).

Таблица 10 – Группа критериев 2 «Технологические»

Наименование критерия		Доля критерия в группе, q_i
Основные технологические процессы		
F_{2-3}	Выброс расплава	0,071
F_{2-2}	Разрушение футеровки индукционной печи	0,066
F_{2-5}	Нарушение гидроизоляции в системе водоохлаждения	0,064
F_{2-6}	Наличие газообразного хлора	0,061
F_{2-4}	Нарушение в работе грузоподъемных механизмов, технических устройств, падение грузов	0,060
F_{2-11}	Наличие влаги в изложницах	0,057
F_{2-10}	Дефекты изложниц	0,054
F_{2-7}	Химически агрессивная среда	0,053
F_{2-1}	Полное или частичное отключение электроэнергии	0,051
F_{2-9}	Повышенная температура электролита	0,051
F_{2-8}	Дефекты электродов	0,049

Продолжение табл. 10

Наименование критерия		Доля критерия в группе, q_i
Вспомогательные технологические процессы		
F_{2-13}	Нарушение условий хранения газообразного хлора	0,062
F_{2-12}	Нарушение условий хранения соляной и азотной кислот	0,056
F_{2-18}	Перегрев скруббера	0,056
F_{2-17}	Забивание форсунок скруббера	0,053
F_{2-15}	Засорение рукавного фильтра	0,049
F_{2-16}	Перегрев фильтра	0,046
F_{2-14}	Повышенная температура при сушке золота	0,041

3.1.3 Обоснование группы критериев «Конструктивные»

Критерии конструктивного характера являются ключевыми элементами анализа рисков возникновения аварий на металлургических предприятиях ввиду специфики производства и эксплуатационного состояния объектов инфраструктуры предприятий. Необходимо учитывать дефекты конструкций, так как они напрямую могут влиять на прочность и устойчивость зданий и сооружений.

Критерии группы «Конструктивные» были определены, исходя из:

- методических рекомендаций по визуальной оценке строительных конструкций;
- статистических данных по авариям, вызванным дефектами несущих конструкций;
- нормативно-правовых актов и научных работ, посвящённых вопросам надёжности зданий, сооружений и технических устройств;
- особого режима работы предприятий по производству золота (высокий уровень секретности и защиты).

Причиной обрушения зданий часто являются конструктивные дефекты, связанные с нарушением геометрии или состоянием материалов. Источником таких проблем может быть ошибка в проекте либо повреждения, накопленные в ходе эксплуатации здания. Имеющиеся дефекты, появление трещин в несущих элементах в ходе эксплуатации снижают прочностные характеристики и устойчивость зданий и сооружений [85]. Было зафиксировано, что наибольшее количество дефектов присутствует на внешней поверхности наружных стен и кровле зданий [86].

Анализ причин аварий показал, что к основным причинам можно отнести дефекты строительно-монтажных работ, нарушение правил эксплуатации зданий, ошибки проектирования, превышение проектных нагрузок в течение эксплуатации, низкая прочность конструкций (рис.13) [87]. Доминирующей причиной является нарушение правил эксплуатации зданий, ответственная почти за половину всех аварий (44%).

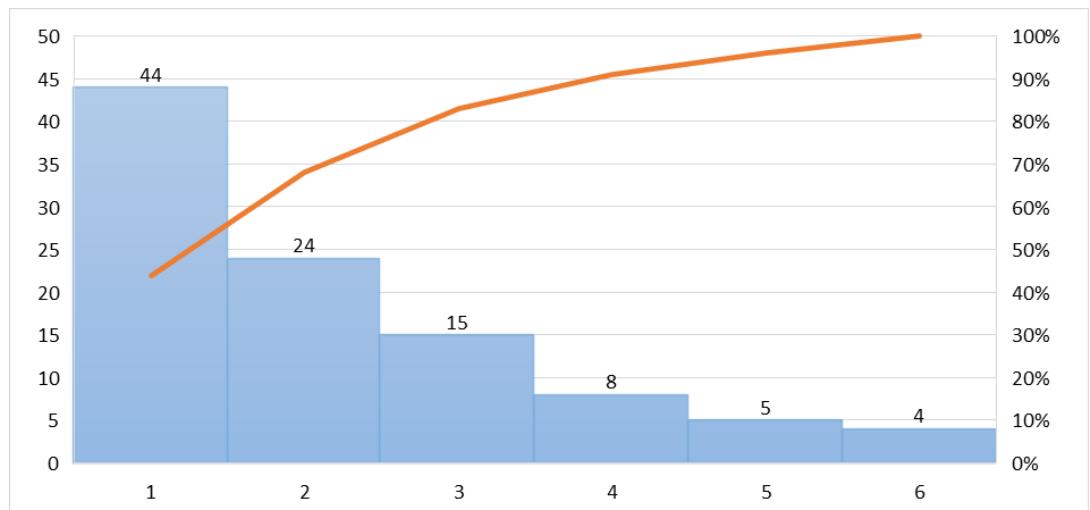


Рисунок 13 – Распределение причин аварий зданий, %

(1 – дефекты строительно-монтажных работ; 2 – нарушение правил эксплуатации; 3 – низкая прочность конструкций; 4 – превышение проектных нагрузок; 5 – ошибки проектирования; 6 – другие причины)

К первопричинам аварий зданий и сооружений относят грубые ошибки, просчеты на этапах проектирования, строительства и эксплуатации здания.

При оценке надежности зданий и сооружений учитывается соответствие использованных материалов разработанному проекту; наличие (или их отсутствие) видимых повреждений (трещины различных видов, коррозионные повреждения); деформации конструкций (осадки, прогибы); превышение проектных нагрузок; условия эксплуатации здания [87-89].

Авторы публикаций [90-92] пишут о том, что конструктивная надежность зданий и сооружений определяется комплексом факторов, включающих качество материалов, точность расчетов, соблюдение норм проектирования и регулярный контроль технического состояния. Все перечисленные публикации подтверждают значимость комплексного подхода к оценке надежности строительных объектов и необходимости постоянного совершенствования методов анализа и диагностики конструкций.

Также необходимо учитывать, что предприятия по производству золота представляют собой сложные производственные комплексы, характеризующиеся высоким уровнем секретности, строгими мерами безопасности и особыми условиями проведения технологических процессов. Внутри предприятий по производству золота, как правило, организовано несколько дополнительных контрольно-пропускных пунктов для проходов из цеха в цех во избежание хищений. Наличие таких дополнительных ограничений для соблюдения требований безопасности является несомненным плюсом, но в случае возникновения аварийной ситуации может затруднить эвакуацию персонала.

Исходя из вышесказанного, были определены критерии группы «Конструктивные» (табл.11).

Таблица 11 – Группа критериев 3 «Конструктивные»

Наименование критерия		Доля критерия в группе, q_i
F_{3-1}	Ошибки проектирования	0,195
F_{3-2}	Превышение проектных нагрузок	0,187
F_{3-2}	Использование некачественных и дефектных строительных материалов	0,177
F_{3-3}	Трещины (технологические, усадочные, волосные, продольные, вертикальные, сквозные)	0,173
F_{3-4}	Коррозия металлических конструкций	0,158
F_{3-6}	Наличие дополнительных контрольно-пропускных пунктов для прохода персонала внутри предприятия (режимность, высокий уровень секретности предприятий)	0,110

3.1.4 Обоснование группы критериев «Непреднамеренный человеческий фактор»

Критерии группы «Непреднамеренный человеческий фактор» (табл. 12) были определены, исходя из:

- статистических данных по причинам аварий в металлургической отрасли;
- научных публикаций о влиянии человеческого фактора на аварийность [93-97], включая труды, в том числе иностранных ученых, о влиянии компетентности работника на аварийность в различных областях промышленности [98-105].

Продолжительность трудовой деятельности служит комплексным индикатором, который демонстрирует не только временной период занятости, но и степень приобретенной компетенции, умения действовать в условиях отклонений от нормы и развитую профессиональную интуицию. Установлена прямая зависимость: сокращение этого периода ведет к увеличению происшествий, причиной которых становятся ошибочные решения в осложненных или неординарных обстоятельствах.

При анализе причин аварий и несчастных случаев с точки зрения роли человеческого фактора, следует учитывать, что общий уровень травматизма формируется под воздействием таких индивидуальных характеристик персонала, как профессиональная квалификация, психофизиологическое состояние, возраст и продолжительность трудовой деятельности. Согласно статистике, наибольшему риску (около 60% происшествий) подвержены сотрудники основной трудоспособной возрастной категории — от 35 до 54 лет, чей средний профессиональный стаж превышает 10 лет [106]. В то же время минимальное количество инцидентов отмечается среди работников с малым стажем. Это объясняется, как правило, тем, что их деятельность осуществляется под постоянным контролем и руководством опытных коллег-наставников.

Согласно данным Роструда [107], значительное влияние на возникновение несчастных случаев на производстве оказывает ухудшение здоровья сотрудника (18,8% от всех причин), несоблюдение правил поведения и дисциплины труда из-за неосторожности, поспешности действий (43%), утомление и физическое перенапряжение (0,4 %).

Таблица 12 – Группа критериев 4 «Непреднамеренный человеческий фактор»

Наименование критерия		Доля критерия в группе, q_i
F_{4-2}	Неудовлетворительное состояние здоровья сотрудника	0,279
F_{4-1}	Стаж работы сотрудника	0,255
F_{4-3}	Низкий уровень образования, квалификации сотрудника	0,241
F_{4-4}	Психоэмоциональное состояние сотрудника (ссоры, переживания, депрессия, болезни близких и другое)	0,225

3.1.5 Обоснование группы критериев «Преднамеренный человеческий фактор»

Критерии группы «Преднамеренный человеческий фактор» были определены, исходя из:

- статистических данных по причинам аварий в металлургической отрасли;
- научных публикаций о влиянии внешнего человеческого фактора на аварийность.

В эту группу вошли критерии, возникающие в результате осознанных, целенаправленных действий человека или групп лиц, направленных на нарушение рабочего процесса и прямое нанесение ущерба, несущие целенаправленный вред жизни и здоровью человека.

Согласно статистике [107], несчастные случаи с тяжелыми последствиями, произошедшие в результате противоправных действий третьих лиц, составили около 20% всех несчастных случаев. При этом за 2024 год произошло резкое увеличение случаев этой категории (рис.14)

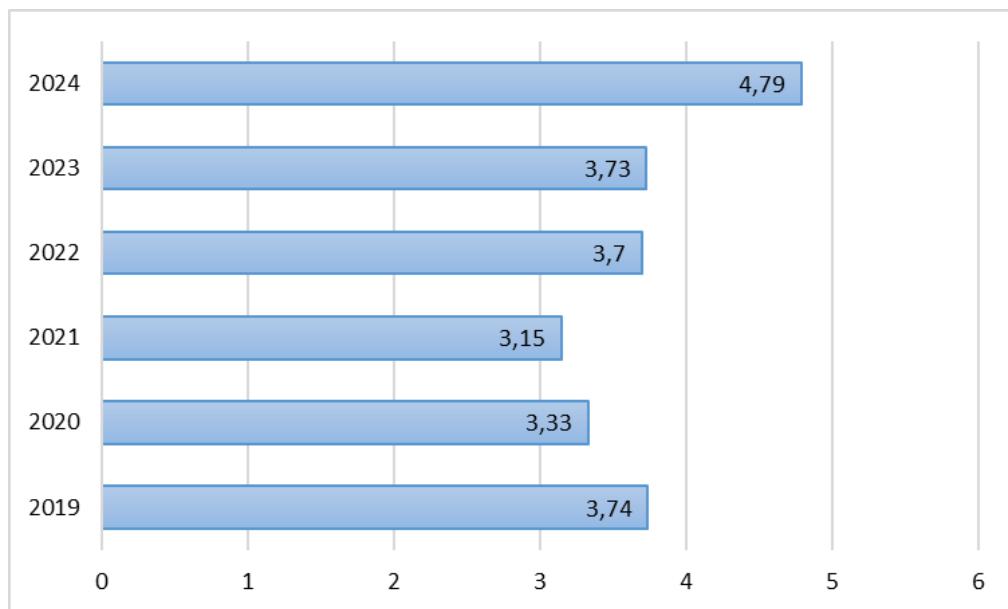


Рисунок 14 – Динамика изменения количества несчастных случаев по причине противоправных действий за 2019–2024 гг., %

Промышленные предприятия, особенно химические, нефтегазовые, металлургические критические инфраструктурные объекты, являются потенциальными целями террористических актов из-за:

- потенциала для массовых жертв и ущерба;
- возможности вызвать долгосрочные экологические катастрофы;
- глубокого экономического и социального резонанса (нарушение цепочек поставок, остановка производства, паника) [108-110].

Общее число террористических атак остается высоким, а их тактики эволюционируют. Это означает, что угроза является постоянной и адаптивной, требуя от промышленности усиленных мер защиты [111].

На основании вышеизложенного, учитывая статистические данные и ряд научных публикаций, упомянутых выше, была сформирована группа критериев «Преднамеренный человеческий фактор» (табл.13).

Таблица 13 – Группа критериев 5«Преднамеренный человеческий фактор»

Наименование критерия		Доля критерия в группе, q_i
F_{5-1}	Нарушение правил пожарной и промышленной безопасности, охраны труда	0,425
F_{5-3}	Диверсии	0,333
F_{5-2}	Противоправные действия (конфликты, беспорядки)	0,241

3.2 Определение балльных оценок критериев и установление уровня опасности

В дальнейшей реализации применяемого метода были осуществлены процедуры:

- опрос экспертов при помощи анкеты,
- расчет коэффициента конкордации (определение согласованности экспертов);
- установление уровня опасности.

Определение значимости групп критериев и каждого критерия в частности проводилось методом экспертной оценки. Метод экспертных оценок, является распространённым инструментом в ситуациях, где классические методы получения данных либо неприменимы, либо не обеспечивают необходимой полноты и достоверности сведений [112-113].

Обзор научной литературы по применению метода экспертных оценок [114-116] свидетельствует об отсутствии чётких требований в отношении формирования экспертной группы, включая определение её оптимальной численности и критериев отбора специалистов.

В рамках проводимого исследования была определена группа экспертов в количестве 15 человек. В группу экспертов вошли специалисты в области оценки риска аварий (профессорско-преподавательский состав НИТУ МИСИС – сотрудники кафедры техносферной безопасности и кафедры цветных металлов и золота), сотрудники металлургических предприятий (АО «Московский завод по обработке специальных сплавов», АО «Щелковский завод вторичных драгоценных металлов», АО «НГМК»), государственные служащие (Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору).

К экспертам предъявлялись следующие требования:

- наличие высшего профильного образования (металлургия, техносферная безопасность);
- опыт работы на предприятиях по производству золота не менее 5 лет;
- наличие публикаций по смежным названию диссертационной работы темам: оценка риска аварий на опасных производственных объектах, цветная металлургия, производство золота [117].

Эксперты отбирались таким образом, что учитывалось их соответствие одному или одновременно нескольким вышеуказанным требованиям.

Метод экспертных оценок проводился путем анкетирования экспертов с целью получения качественной и количественной оценок выявленных опасностей. В анкете представлен перечень опасностей, составленный на

основании анализа технологической схемы получения аффинированного золота. В случае несогласия с представленным перечнем эксперты могли оставить комментарии в соответствующем разделе в конце анкеты. Данная анкета была отправлена экспертам в формате Google-формы. Анкета приведена в таблице 14.

Таблица 14 – Анкета для проведения опроса экспертной группы

Уважаемые эксперты!	
<p>Прошу принять участие в опросе в рамках диссертационного исследования на тему "Разработка метода оценки и управления риском аварий при производстве золота".</p> <p>Определены следующие группы критериев (опасностей), которые могут влиять на аварийность:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Природные; 2) Технологические (выброс расплава, отключение электроэнергии, нарушение в работе грузоподъемных механизмов и т. д.); 3) Конструктивные (ошибки проектирования, коррозия, трещины и др.); 4) Непреднамеренный человеческий фактор (здоровье и эмоциональное состояние сотрудника, стаж и квалификация); 5) Преднамеренный человеческий фактор (нарушение правил пожарной и промышленной безопасности, противоправные действия третьих лиц). <p>Значимость опасностей из группы "Природные" оценивалась на основании статистических данных, местоположения предприятий, поэтому в данном опросе группа не представлена.</p> <p>Первоначально Вам необходимо оценить значимость групп критериев и каждого критерия по шкале от 1 до 10 баллов (1 балл – низкая значимость, 10 баллов – высокая значимость критерия).</p> <p><i>Опрос анонимный, для внутреннего пользования. Опрос займет у Вас не более 20 минут.</i></p>	
Определение значимости групп критериев	
Наименование группы критериев	Балл (от 1 до 10)
Природные	
Технологические	
Конструктивные	
Непреднамеренный человеческий фактор	
Преднамеренный человеческий фактор	
Определение значимости критериев	
Технологические	
Выброс расплава	
Разрушение футеровки индукционной печи	
Нарушение гидроизоляции в системе водоохлаждения	
Наличие газообразного хлора	
Нарушение в работе грузоподъемных механизмов, технических устройств, падение грузов	
Наличие влаги в изложницах	
Дефекты изложниц	
Химически агрессивная среда	
Полное или частичное отключение электроэнергии	
Повышенная температура электролита	

Продолжение табл. 14

Дефекты электродов	
Нарушение условий хранения газообразного хлора	
Нарушение условий хранения соляной и азотной кислот	
Перегрев скруббера	
Забивание форсунок скруббера	
Засорение рукавного фильтра	
Перегрев фильтра	
Повышенная температура при сушке золота	
Конструктивные	
Ошибки проектирования	
Превышение проектных нагрузок	
Использование некачественных и дефектных строительных материалов	
Трещины (технологические, усадочные, волосные, продольные, вертикальные, сквозные)	
Коррозия металлических конструкций	
Наличие дополнительных контрольно-пропускных пунктов для прохода персонала внутри предприятия (режимность, высокий уровень секретности предприятий)	
Непреднамеренный человеческий фактор	
Неудовлетворительное состояние здоровья сотрудника	
Стаж работы сотрудника	
Низкий уровень образования, квалификации сотрудника	
Психоэмоциональное состояние сотрудника (ссоры, переживания, депрессия, болезни близких и другое)	
Преднамеренный человеческий фактор	
Нарушение правил пожарной и промышленной безопасности, охраны труда	
Диверсии	
Противоправные действия (конфликты, беспорядки)	
Для комментариев:	

По результатам применения метода экспертных оценок были выявлены ключевые производственные опасности при производстве золота и установлена их значимость — как для групп критериев, так и для каждого критерия в отдельности. В каждой группе критерии были упорядочены по степени опасности от наиболее значимых к наименее значимым.

Далее экспертная группа осуществила оценку, присвоив каждому сценарию критерия балл по шкале от 0 до 10, где 0 означает «критерий практически не увеличивает риск возникновения аварии», а 10 – «критерий резко увеличивает риск возникновения аварии». Всего в ходе исследования было идентифицировано и оценено 37 критериев.

Количественная оценка степени согласия между экспертами проводилась при помощи расчета коэффициента конкордации Кендалла (W). В рамках расчёта коэффициент конкордации определялся по формуле (2) при отсутствии в данных совпадений рангов (связанных рангов). При наличии связанных рангов вычисления проводились на основании формулы (3).

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3-n)}, \quad (2)$$

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3-n)-m \sum_{j=1}^m T_j}, \quad (3)$$

где W – коэффициент конкордации Кендалла, количественно отражающий степень согласованности мнений экспертов; S – сумма квадратов отклонений фактических сумм рангов объектов от их среднего арифметического значения; m – общее число экспертов в группе; n – количество критериев; T_j – поправка на связанные ранги, равная разности между кубом числа элементов в j -ой связке для i -го эксперта.

Показатель варьируется в диапазоне от 0 (что означает полное отсутствие согласованности экспертной группы) до 1 (что свидетельствует о максимальной согласованности экспертной группы). В соответствии с общепринятыми исследовательскими стандартами, минимально допустимым порогом считается уровень W , превышающий 0,5. Практические расчёты были выполнены посредством модуля «Анализ данных», входящего в состав программного пакета MS Excel.

Результаты расчета коэффициента конкордации представлены в Приложении Б. Полученные значения находятся в диапазоне $W=0,675-0,982$,

что свидетельствует о высокой степени согласованности мнений экспертной группы по всем установленным критериям опасности.

На основании данных опроса и расчета для каждой категории критериев присвоены баллы по каждому сценарию реализации событий (Приложение В).

Методика оценки риска аварий для предприятий по производству золота заключается в следующем:

1. Идентификация опасностей для конкретного цеха/предприятия на основании установленного перечня опасностей (критериев).

2. Присвоение баллов каждому критерию в зависимости от установленных для него сценариев и баллов.

3. Суммарная балльная оценка по всем критериям определяется по формуле 4:

$$B = \sum_{j=1}^{J(i)} p_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij}, \quad (4)$$

где B_i – общая балльная оценка; B_{ij} – балльная оценка конкретного критерия; i – номер группы критериев; j – номер критерия в группе; p_i – весовой коэффициент, показывающий долю группы критериев; q_{ij} – весовой коэффициент, показывающий долю одного критерия в группе.

4. Располагая результатами балльной оценки, возможно провести ранжирование основных технологических этапов производства золота по степени опасности, руководствуясь таблицей 15.

5. В зависимости от установленного уровня опасности определить перечень мероприятий, необходимых для снижения либо предотвращения риска аварий на действующем предприятии.

Таблица 15 – Установление уровня опасности, характеристика уровней

Уровень опасности	Количество баллов	Характеристики уровня
Чрезвычайно высокий	Более 7	грубые нарушения требований охраны труда и промышленной безопасности; частичное разрушение зданий и сооружений / технологического оборудования; опасность выброса расплавов, возможны несчастные случаи с летальным исходом
Высокий	>5 до 7	частичное разрушение зданий и оборудования; возможны несчастные случаи различной степени тяжести
Средний	>3 до 5	Фиксируются незначительные нарушения требований охраны труда и промышленной безопасности; возможны редкие нарушения в ходе технологических процессов
Низкий	От 1 до 3	Предприятие функционирует в нормальном режиме, соответствует требованиям безопасности

На основании расчёта балльной оценки для наихудшего и наилучшего сценариев развития аварийной ситуации были определены нижняя и верхняя границы шкалы уровней опасности.

В зависимости от установленного уровня опасности, присвоенного в ходе оценки, в рамках работы предложены конкретные меры по минимизации выявленных опасностей на производстве.

3.3. Определение удельной частоты аварий

Для количественной оценки риска аварий предлагается расчет удельной частоты аварий, вычисляемой по формуле (5). Удельная частота аварий является количественной мерой риска, которая способствует расставить приоритеты при планировании мероприятий по снижению рисков.

$$\lambda_n = \lambda_{cp} \cdot k_p \cdot k_v \cdot \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} p_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij}}{B_{cp}} , \quad (5)$$

где p_i – весовой коэффициент, показывающий долю группы критериев; q_{ij} – весовой коэффициент, показывающий долю одного критерия в группе; λ_{cp} – средняя удельная частота аварий за последние пять лет (2021–2024гг.); k_p – региональный коэффициент, отражающий особенности региона расположения предприятия; k_v – коэффициент, учитывающий срок эксплуатации предприятия;

B_{cp} – величина, равная 5,61, которая является средней балльной оценкой по всем критериям суммарно и определялась на этапе разработки данной методики на основании статистических данных из доступных информационных источников (Приложение Г).

Ввиду ограниченной доступности детализированной статистики по каждому критерию средняя балльная оценка была частично основана на экспертных суждениях и аппроксимации данных из смежных отраслей. По мере накопления отраслевой статистики значение средней балльной оценки может быть скорректировано.

Региональный коэффициент вводится для учёта потенциальных рисков, обусловленных географическим положением предприятия и специфическими климатическими условиями территории его размещения (табл. 16). Климатические регионы принимаются, исходя из климатического районирования России на основании Технического регламента таможенного союза ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты» [118].

Таблица 16 – Определение регионального коэффициента

Наименование региона и климатического пояса	Красноярский край – Iб	Челябинская область, Свердловская область – II	Москва и Московская область, Рязанская, Орловская и области - III
k_p	1,0	0,5	0,3

Распределение значений регионального коэффициента основаны на классификации регионов нахождения аффинажных предприятий. Наибольший коэффициент $k_p=1$ присвоен Красноярскому краю, так как для него характерен экстремально холодный климат (температуры достигают значений ниже -40°C), местами присутствуют зоны вечной мерзлоты. Это требует высоких затрат на строительство, логистику и энергозатраты. Высоки риски климатических повреждений инфраструктуры предприятий.

Для второго климатического пояса значение коэффициента определено как $k_p=0,5$ по причине менее сурового, но континентального климата с суровыми зимами. Регионы промышленно развитые, с хорошей инфраструктурой. Риски существенны, но значительно ниже, чем в Красноярском крае.

Наименьшее значение определено для третьего климатического пояса, который характеризуется умеренно-континентальным климатом с наиболее мягкими условиями. Высочайшая плотность инфраструктуры, доступность сервисов, логистики, кадров. Риски, связанные исключительно с местоположением, минимальны.

Несмотря на то, что на региональный коэффициент для действующих объектов скорректировать невозможно, но его можно учитывать при проектировании новых предприятий и выборе мест для них, принимая во внимание климатические особенности регионов.

Коэффициент учета срока эксплуатации здания учитывает срок постройки и ввода в эксплуатацию зданий и сооружений предприятия.

Согласно исследованиям [119-120], доля аварий, связанных с эксплуатацией зданий, возросла с 11 до 35%, и связано с естественным износом. Это особенно характерно для производственных объектов, которые характеризуются тяжелыми условиями эксплуатации ввиду использования грузоподъемных механизмов, наличия химически агрессивной среды, высоких температурных процессов и пр.

На сегодняшний день подавляющее большинство действующих аффинажных предприятий (более 60%) имеют срок эксплуатации более 50 лет, что подразумевает естественный износ и старение как зданий, так и используемого технологического оборудования, если не происходит его своевременной модернизации и замены. Около 17% предприятий имеют срок эксплуатации до 10 лет, тем самым уменьшая вероятность возникновения аварий по причине износа основных фондов.

Для коэффициента учета срока эксплуатации здания установлены следующие значения (табл. 17).

Таблица 17 – Определение коэффициента учета срока эксплуатации здания

Срок эксплуатации предприятия (цеха, участка)	Не более 10 лет	От 10 до 35 лет	От 35 до 50 лет	более 50 лет
k_e	0,5	0,3	1,0	1,5

Распределение коэффициентов учета срока эксплуатации здания основаны на классической модели кривой жизненного цикла технических систем («кривая ванны») (рис.16).

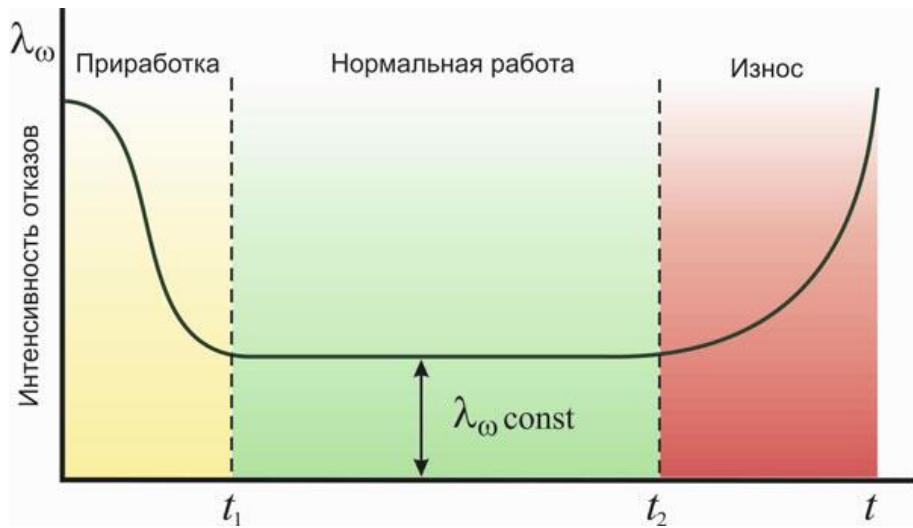


Рисунок 16 – Кривая жизненного цикла оборудования (кривая ванны)

Согласно данной модели, в период приработки выявляются и устраняются скрытые дефекты проектирования, строительства, монтажа. Это могут быть некачественные сварные швы, неправильно подобранные материалы, ошибки в наладке сложных систем, «усушка и утруска» конструкций. После периода приработки (первые годы) объект вступает в продолжительную фазу нормальной эксплуатации, характеризующуюся минимальной и постоянной интенсивностью отказов при условии планового обслуживания. Именно этот период (10–35 лет для капитальных зданий) считается наиболее надежным с точки зрения рисков, связанных с физическим износом. По достижении 35–50 лет начинается фаза прогрессирующего старения, когда износ становится определяющим фактором риска, что и отражается в повышении значений коэффициента k_e до 1,0 и 1,5 соответственно.

Продолжительная эксплуатация сооружений приводит к снижению их надёжности и постепенному накоплению критических дефектов, таких как трещины, деформации и коррозия металлоконструкций и оборудования. Эти факторы существенно повышают вероятность аварии. Использование коэффициента, учитывающего срок службы здания, позволяет количественно оценить влияние его «возраста» на уровень риска и своевременно инициировать необходимые превентивные мероприятия.

Величина полученного риска не должна превышать значения 10^{-6} . При этом, согласно действующему законодательству, для производственных объектов, на которых достижение такого значения невозможно по причине специфики производства, допускается величина риска не более 10^{-4} . В таком случае необходимо уделять более пристальное внимание регулярному обучению и защите персонала.

Выводы по главе 3

1. Определены пять групп критериев опасности, характерных для производства золота: природные, технологические, конструктивные, непреднамеренный человеческий фактор и преднамеренный человеческий фактор; приведено обоснование выбора критериев. Всего установлено 37 критериев.
2. На основании результатов метода экспертной оценки определены значимость каждой группы критериев, значимость каждого отдельного критерия, определена балльная оценка категорий критериев. Наибольшие весовые коэффициенты были присвоены группам «Технологические» и «Непреднамеренный человеческий фактор». Это говорит о том, что основные источники риска носят внутренний характер и связаны с организацией производственных процессов, в отличие от воздействия внешних факторов.
3. Произведен расчет коэффициента конкордации, который по всем критериям показал высокую согласованность экспертов: его значения находятся в диапазоне $W=0,675-0,982$.
4. Установлены уровни опасности (низкий, средний, высокий и чрезвычайно высокий), основанные на балльной оценке критериев.
5. В качестве показателя риска предлагается расчет удельной частоты риска аварий, которая учитывает климатические особенности региона нахождения и срок эксплуатации предприятий.

ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЗОЛОТА

4.1 Описание объектов исследования

Предприятие №1 находится в центральном федеральном округе. Год ввода в эксплуатацию – 1946 г. Год ввода в эксплуатацию аффинажного участка – 2004 г.

Предприятие занимает лидирующую позицию на рынке по выпуску прокатной и волоченой продукции, а также штампованных деталей из драгоценных сплавов. В производственном цикле задействованы передовые методики и оборудование для непрерывного и полунепрерывного литья, инновационные технологии вакуумной и плазменно-индукционной выплавки, горячего прессования, многопоточного экструдирования, а также высокоскоростные многократные волочильные станы. Значительную долю в выпуске проката составляет производство рулонной продукции. Высокую эффективность демонстрируют процессы отжига в условиях вакуума и контролируемой газовой среды.

Предприятие осуществляет аффинаж золота и серебра, а также металлов платиновой группы (платина, палладий). В качестве сырья на предприятие поступают шлиховое золотое после приемной плавки в виде гранул, сплавы Доре, заводские отходы различных сплавов, содержащие благородные металлы, мелкие и бракованные отходы (плети, пруты, контакты, проволока, стружка), электронный и ювелирный лом, лом технических изделий с включениями благородных металлов.

Аффинированное золото выпускается в нескольких формах: мерные слитки (различных размеров и веса), гранулы, порошок. Качество выпускаемых заводом золотых слитков отвечает требованиям как ГОСТ 28058-89 «Золото. Технические условия», так и строгим международным требованиям. Это подтверждается аккредитацией стандарта Good Delivery («Надежная поставка»), которую предприятие получило от Лондонской ассоциации участников рынка драгоценных металлов (LBMA).

Предприятие осуществляет такие технологические процессы, как:

- кислое выщелачивание;
- электрохимическое восстановление;
- аффинаж золота;
- хлорная плавка;
- плавка готовой продукции;
- изготовление сусального золота;
- изготовление ювелирных изделий.

Само предприятие относится к IV классу опасности в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов", размер санитарно-защитной зоны составляет 100 м. Аффинажный цех расположен в отдельном здании на территории предприятия и относится к III классу опасности.

Номенклатура производственных мощностей завода содержит более 1,5 тысяч разновидностей сплавов и композитных составов, а также около 7 тысяч типов выпускаемых изделий.

Производительность по выходу драгоценных металлов в среднем: золота в слитках - до 5 т в год; серебра в слитках – до 60 т в год.

Предприятие №2 находится в центральном федеральном округе. Год ввода в эксплуатацию – 1941 г.

В качестве сырья завод принимает такие материалы, как шлиховое золото, концентраты, сплавы Доре, вторичные отходы (ювелирный и электронный лом), содержащие помимо золота и серебра металлы платиновой группы (платину и палладий).

Аффинированное золото выпускается преимущественно в форме мерных или стандартных слитков, и в виде гранул. Продукция предприятия соответствует стандарту «Good Delivery», что подтверждено сертификатом Лондонской ассоциации участников рынка драгоценных металлов (LBMA).

На предприятии реализуются такие технологические процессы, как:

- приемная плавка;
- плавка готовой продукции;
- участок дуговой плавки;
- электрохимическое восстановление;
- осаждение солей;
- растворение в минеральных кислотах;
- химическое восстановление;
- аффинаж золота.

В связи с тем, что со временем транспортировка отходов производства на переработку стала экономически невыгодна, на предприятии были разработаны и внедрены технологии для переработки отходов производства, содержащих цветные и незначительные количества драгоценных металлов с целью их доизвлечения.

Контроль качества на предприятии обеспечивается центральной заводской лабораторией, где подвергаются анализу как входящее сырье, так и конечная продукция. Данная лаборатория аккредитована международным сертификационным органом и имеет высокий рейтинг подтверждения компетентности. Основная номенклатура выпускаемых изделий соответствует сертифицированной системе менеджмента качества по стандартам органа «ВНИИС-СЕРТ» АО «ВНИИС».

На предприятии также есть аффинажный цех, установленный класс опасности которого – IV.

Изделия предприятия используются при производстве фотоматериалов, контактных металлокерамических композитов, химических источников тока, каталитических систем, а также в технологиях зеркального производства и иных специализированных областях.

Производительность по выходу драгоценных металлов в среднем: золота в слитках - до 10 т в год; серебра в слитках – до 400 т в год.

4.2 Оценка риска аварий по разработанной методике на примере предприятий по производству золота

По разработанной методике проведен расчет балльной оценки риска аварий для двух предприятий, осуществляющих аффинаж золота. Установление балльных оценок проводилось на основании информации о текущем состоянии предприятия, производства и оборудования от инженерно-технических работников, задействованных непосредственно в технологических процессах аффинажа.

Результаты сравнительного расчета балльной оценки представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет оценки риска аварий по разработанной методике по двум предприятиям

Критерий	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>B_{ii}, Предприятие 1</i>	<i>B</i>	<i>B_{ii}, Предприятие 2</i>	<i>B</i>
Полное или частичное отключение электроэнергии	0,235	0,051	1	0,012	5	0,060
Разрушение футеровки индукционной печи		0,066	6	0,093	6	0,093
Выброс расплава		0,071	5	0,083	10	0,167
Нарушение в работе грузоподъемных механизмов, технических устройств, падение грузов		0,06	10	0,141	5	0,071
Нарушение гидроизоляции в системе водоохлаждения индукционной печи		0,064	4	0,060	4	0,060
Наличие газообразного хлора		0,061	10	0,143	0	0,000
Химически агрессивная среда		0,053	7	0,087	7	0,087
Дефекты электродов		0,049	1	0,012	5	0,058
Повышенная температура электролита		0,051	1	0,012	8	0,096
Дефекты изложниц		0,054	1	0,013	1	0,013
Влага в изложницах		0,057	1	0,013	1	0,013
Нарушение условий хранения соляной и азотной кислот		0,062	1	0,015	1	0,015

Продолжение табл. 18

Критерий	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>B_{ii}</i> , Предприятие 1	<i>B</i>	<i>B_{ii}</i> , Предприятие 2	<i>B</i>
Нарушение условий хранения газообразного хлора	0,209	0,056	2	0,026	0	0,000
Превышение температуры при сушке катодного золота		0,041	1	0,010	1	0,010
Засорение рукавного фильтра		0,049	4	0,046	1	0,012
Перегрев рукавного фильтра		0,046	10	0,108	1	0,011
Перегрев скруббера		0,056	1	0,013	1	0,013
Забивание форсунок скруббера		0,053	4	0,050	1	0,012
Ошибки проектирования	0,244	0,195	1	0,041	4	0,163
Использование некачественных и дефектных строительных материалов		0,177	5	0,185	5	0,185
Трещины (технологические, усадочные, волосные, продольные, вертикальные, сквозные)		0,173	2	0,072	2	0,072
Коррозия металлических конструкций		0,158	10	0,330	6	0,198
Превышение проектных нагрузок		0,187	1	0,039	1	0,039
Наличие контрольно-пропускных пунктов для прохода персонала внутри предприятия		0,11	5	0,115	5	0,115
Неудовлетворительное состояние здоровья сотрудника	0,177	0,279	8	0,545	1	0,068
Низкий уровень образования, квалификации сотрудника		0,255	4	0,249	4	0,249
Стаж работы сотрудника		0,241	3	0,176	3	0,176
Психоэмоциональное состояние сотрудника		0,225	3	0,165	3	0,165
Нарушение правил пожарной и промышленной безопасности, охраны труда	0,177	0,425	10	0,752	2	0,150
Диверсии		0,333	9	0,530	9	0,530
Противоправные действия		0,241	5	0,213	5	0,213

Продолжение табл. 18

Критерий	p	q	B_{ii} Предприятие 1	B	B_{ii} Предприятие 2	B
Высокие уровни воды (половодье, дождевой паводок, затор, зажор)	0,135	0,25	1	0,034	4	0,135
Комплекс неблагоприятных явлений		0,241	2	0,065	6	0,195
Крупный град		0,131	1	0,018	1	0,018
Сильный ливень		0,076	1	0,010	4	0,041
Лесные (и другие природные) пожары		0,16	1	0,022	1	0,022
Очень сильный ветер, ураганный ветер		0,142	1	0,019	6	0,115
ИТОГО				4,518		3,640

По итогу расчета и на основании установленных уровней опасностей (табл.14) итоговая балльная оценка получилась:

- предприятие №1: **4,518** баллов, что соответствует среднему уровню опасности;
- предприятие № 2: **3,640** баллов, что соответствует среднему уровню опасности.

На основании результатов балльной оценки рисков для двух предприятий можно выделить наиболее слабые участки (критерии с максимальными значениями итоговых баллов B), которые требуют первоочередного внимания и внедрения мер по снижению рисков.

Ключевое различие между предприятиями лежит в структуре их главных угроз. Для Предприятия 1 доминируют риски, напрямую связанные с человеческим фактором и организационной культурой безопасности. Абсолютным максимумом (0,752) выделяется нарушение правил безопасности, что указывает на проблемы в области охраны труда и промышленной безопасности предприятия. Эта проблема усугубляется самым высоким среди всех критериев баллом по состоянию здоровья сотрудников (0,545). В совокупности это рисует картину среды, где пренебрежение нормами стало обыденной практикой, а физическое и психологическое

состояние персонала не является объектом достаточного внимания со стороны управления.

Также Предприятие №1 отличает наличие технологического процесса Миллера, который предполагает использование газообразного хлора, что значительно повышает его балльную оценку (0,143) по этому критерию и балльную оценку предприятия в целом.

Для Предприятия 2 профиль рисков более сбалансирован, а пиковые значения значительно ниже. Хотя проблемы с квалификацией персонала (0,249) и диверсиями (0,530) присутствуют, они не достигают таких высоких показателей, как у Предприятия 1. Вместо этого, у Предприятия 2 выше относительная значимость технологических критериев: выброс расплава (0,167), повышенная температура электролита (0,096).

По предприятию №2 максимальный балл присвоен критерию «Выброс расплава», что соответствует количеству расплава более 50 кг в индукционной сталеплавильной печи за одну плавку. Превышение температуры электролита, что влияет на коррозию используемого оборудования.

Оба предприятия также имеют общие точки уязвимости:

- Коррозия конструкций. Присутствует на обоих предприятиях, но для Предприятия 1 (0,330) это критически значимый риск, в то время как для Предприятия 2 (0,198) — существенный. Это связано с естественным старением и износом зданий и сооружений, оборудования в связи с долгим сроком эксплуатации обоих предприятий.
- Квалификация персонала. Одинаковый балл (0,249) указывает на общую для отрасли либо региона проблему дефицита квалифицированных кадров и низкий уровень образования работников.
- Диверсии. Идентичный высокий балл (0,530) говорит о схожей уязвимости к целенаправленным террористическим действиям, что может говорить о сложной обстановке в регионе нахождения предприятия. Оба предприятия находятся в одном федеральном округе, что подтверждает совпадение балльной оценки.

Таким образом, на основании результатов балльной оценки по двум аффинажным предприятиям, можно определить наиболее уязвимые участки каждого из них. По предприятию №1 наиболее уязвимым участком является процесс хлорной плавки, по предприятию № 2 – участок плавки металла, который подразумевает наличие большого количества расплава за одну плавку. Согласно проведенной балльной оценке, эти критерии за счет полученных максимальных баллов значительно увеличивают общую балльную оценку предприятий, тем самым повышая общий уровень опасности.

Выводы по главе 4

1. Для проверки разработанной методики был проведен сравнительный расчет балльной оценки двух предприятий, осуществляющих аффинаж золота.
2. По результатам расчета балльная оценка предприятий №1 и №2 составила 4,518 и 3,640 баллов соответственно, что соответствует установлению среднего уровня опасности в обоих случаях и реализацию мероприятий в соответствии с ним.
3. Наличие на предприятии №1 процесса хлорной плавки с участием газообразного хлора существенно увеличивает общую балльную оценку предприятия за счет реализации процесса хлорной плавки (процесса Миллера).
4. Учитывая то, что срок эксплуатации обоих предприятий более 80 лет, на высокую балльную оценку по некоторым критериям оказывает влияние естественной износ и старение основных фондов, коррозия оборудования и металлических конструкций, зафиксированные случаи в нарушении работы грузоподъемных механизмов и нарушения правил пожарной и промышленной безопасности, что подтверждают установленные в ходе проверочного расчета баллы.

ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СНИЖЕНИЮ РИСКА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЗОЛОТА

5.1 Алгоритмическое обеспечение оценки риска аварий для предприятий по производству золота

Заключительным этапом исследования стала разработка методики оценки риска аварий на предприятиях по производству золота, алгоритм которой представлен на рисунке 17.

Согласно полученной балльной оценке, предполагается реализация мероприятий организационно-технического характера в зависимости от установленного уровня опасности с целью снижения уровня опасности или поддержания на существующем уровне.

В случае, если по результатам оценки риска балльная оценка превышает 7 баллов, цеху/предприятию присваивается максимальный «чрезвычайно высокий» уровень опасности и предусматривается временная остановка деятельности предприятия до нормализации условий. После устранения нарушений заново проводится идентификация опасностей с целью определения уровня опасности.

При изменении условий деятельности предприятия: внедрение новых технологических процессов, модернизация или замена технологического оборудования, аварии, иные случаи (изменение законодательства), алгоритм возвращается к шагу «Идентификация опасностей» с учетом новых условий производства для определения нового перечня опасностей.

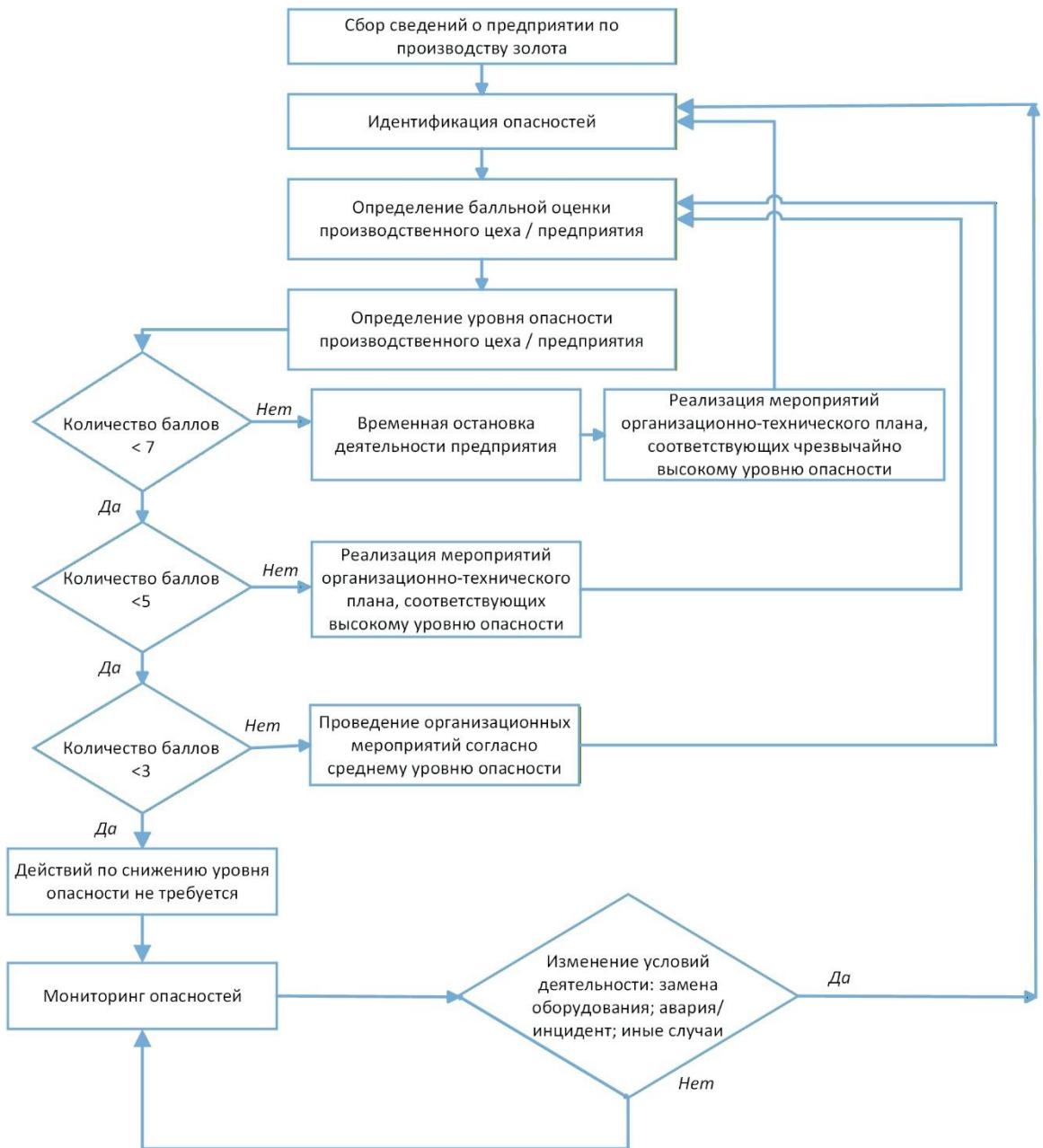


Рисунок 17 – Алгоритм проведения оценки риска аварий на предприятиях по производству золота

Также разработан алгоритм для определения удельной частоты аварий (рис. 18).

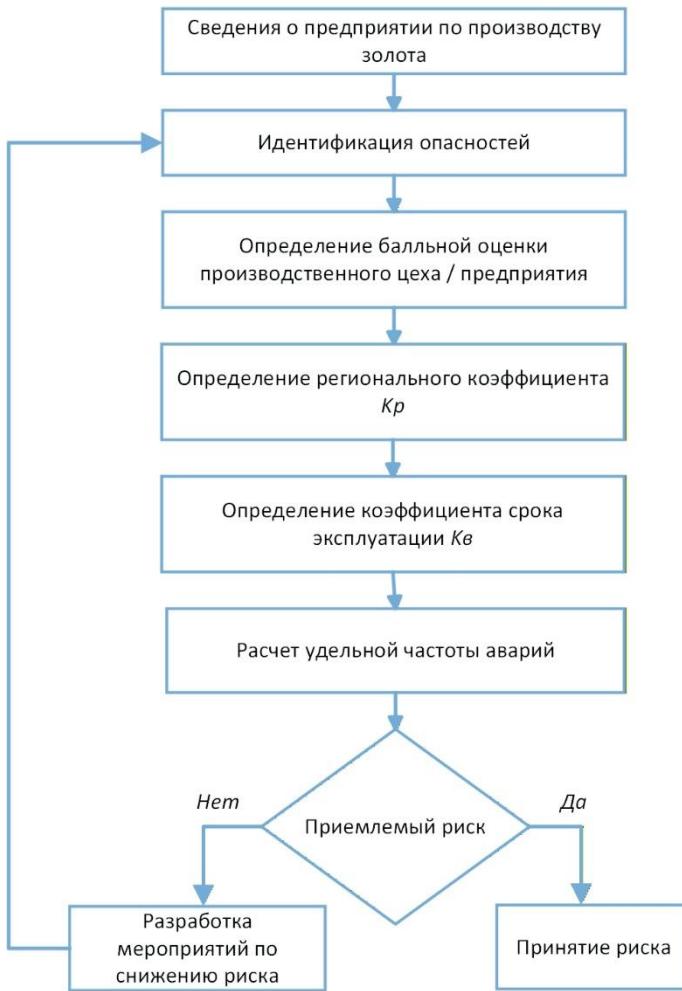


Рисунок 18 – Алгоритм расчета удельной частоты аварий

Определение коэффициентов k_p и k_e осуществляется согласно разделу 3.3 настоящей работы.

В случае, если значение риска является неприемлемым ($>10^{-4}$), тогда осуществляется разработка и реализация мероприятий по устранению или снижению уровня риска до допустимых значений. После проведенных мероприятий заново проводится этап идентификации опасностей.

Разработанный алгоритм оценки риска аварий позволяет не только количественно оценить уровень риска, но и выявить «критические точки» технологического процесса и управления предприятием. На его основе сформирован комплекс мероприятий, направленных на снижение вероятности возникновения аварий и минимизацию их последствий.

5.2 Перечень мероприятий организационно-технического характера для групп критериев

Комплекс мер, нацеленных на недопущение аварийных ситуаций, включает в себя организационные и технические мероприятия, подбираемые индивидуально для каждого конкретного предприятия или отдельного его участка в зависимости от установленного уровня опасности. Предварительно определена классификация критериев на управляемые, частично управляемые и неуправляемые (рис.19).



Рисунок 19 – Классификация критериев по типу управляемости

Управляемыми считаются критерии, на которые руководство предприятия может напрямую и существенно влиять через изменения в процессах, выделение ресурсов и совершенствование системы управления. Эти риски лежат в зоне непосредственной ответственности менеджмента. Сюда относятся критерии групп «Технологические» и «Конструктивные», часть критериев, связанных с человеческим фактором (низкий уровень образования и квалификации сотрудников, неудовлетворительное состояние здоровья

сотрудников, нарушение правил пожарной и промышленной безопасности, охраны труда).

К частично управляемым относятся следующие критерии: психоэмоциональное состояние сотрудников, недостаточный стаж работы, противоправные действия внутри предприятия.

К неуправляемым относятся внешние риски, повлиять на причину возникновения которых предприятие напрямую не может или влияние это крайне ограничено. Управление такими рисками сводится к разработке предупредительных мероприятий, способных противостоять воздействию и минимизировать ущерб. Сюда относятся все критерии группы «Природные», часть критериев, связанных с человеческим фактором (диверсии, противоправные действия персонала).

Мероприятия для группы критериев «Природные»:

a) организационные:

- разработка планов действий при ЧС; мониторинг метеопрогнозов; регулярные учения;

б) технические:

- создание дренажных каналов, ливневой канализации;
- установка прудов-накопителей;
- установка систем оповещения в случае ЧС и автономных источников питания;
- укрепление легких кровельных покрытий, ЛЭПов, высотных конструкций.

Мероприятия для группы критериев «Технологические»

a) организационные:

- разработка и регулярный (не реже 1 раза в 3 года) пересмотр детальных технологических регламентов и инструкций для всех операций;
- строгие регламенты на ведение технологических процессов и контроль за их соблюдением;
- система наряд-допусков к определенным видам работ.

б) технические:

- своевременный ремонт/замена оборудования или его деталей, проверка герметичности;
- монтаж защитных козырьков и ограждений;
- оснащение печей системами непрерывного контроля температуры футеровки и расплава с сигнализацией о превышении;
- устройство аварийных сливных канавок, ведущих в специальные емкости-ловушки для расплава;
- применение технических решений, предусматривающих автоматическую защиту от недопустимых отклонений температуры, давления, с их остановкой и/или отключением;
- установка автоматических систем ввода резерва и резервных источников питания (дизель-генераторы) для обеспечения бесперебойной подачи энергии на оборудование, задействованное в основных технологических процессах, и обеспечивающее микроклимат производственного помещения (печи, системы охлаждения, вентиляции);
- оборудование складов для хранения опасных веществ системами приточно-вытяжной вентиляции, поддонами для сбора розливов, соответствующей герметичной тарой для хранения, датчиками утечки (газов, паров), ограждениями и табличками с предупреждающими знаками;
- использование грузоподъемных механизмов (тельферы, краны) с дублирующими системами безопасности (например, дополнительные тормоза).

Мероприятия для группы критериев «Конструктивные»

а) организационные:

- проведение регулярных визуальных и инструментальных осмотров, фиксация дефектов;
- внедрение BIM-технологий, систем мониторинга нагрузок;
- зонирование предприятия;
- строгий входной контроль качества строительных материалов;

- внедрение независимого аудита проектной документации.

б) технические:

- антисорбционная обработка оборудования и металлоконструкций;
- установка дополнительных опорных конструкций, колонн или усиление существующих в зонах с выявленным превышением проектных нагрузок.

Мероприятия для групп критериев, связанных с влиянием человеческого фактора (Непреднамеренный и преднамеренный человеческий фактор):

Управляемые критерии можно корректировать следующими организационными мероприятиями:

- регулярными аттестацией, обучением и повышением квалификации сотрудников;
- обязательными периодическими медосмотрами с учетом специфики профессии сотрудников;
- программой адаптации и наставничества в компании для поддержки и обучения новых сотрудников;
- созданием прозрачной системы позитивной мотивации (бонусы, премии за безаварийную работу) и, наоборот, санкций в случае нарушения требований промышленной и пожарной безопасности.

В случае с неуправляемыми и частично управляемыми критериями предлагаются мероприятия организационного и технического плана, способствующие минимизации последствий и ущерба при их возникновении:

а) организационные:

- разработка и внедрение программ психологической поддержки и мониторинга психоэмоционального состояния сотрудников (анонимные опросы, трекеры настроения, тренинги по управлению стрессом, создание службы психологической помощи).
- разработка актуальных планов по противодействию терроризму, взаимодействие со спецслужбами для получения своевременной информации об уровне террористической угрозы и криминогенной обстановке в регионе;

б) технические:

- разработка и регулярное проведение учений совместно с правоохранительными органами, сценарии учений должны постоянно обновляться;
- установка современных систем физической защиты периметра (усиленные заборы, датчики вибрации и обрыва, радиолучевые системы, видеонаблюдение по всему периметру с аналитикой поведения
- установка дополнительных систем видеонаблюдения, систем радиоэлектронной борьбы (РЭБ),
- создание защищенных укрытий (убежищ) для персонала на территории предприятия.

5.3 Рекомендации по снижению риска аварий для установленных уровней опасности

С целью систематизации мер по обеспечению промышленной безопасности в данном разделе представлены рекомендации по снижению риска аварий, структурированные в соответствии с установленными уровнями опасности. На основании результатов интегральной балльной оценки составлен перечень необходимых организационно-технических мероприятий, которые следует реализовать в зависимости от итоговой балльной оценки риска для предприятия либо производственного участка. Это позволяет оперативно устранить нарушения и снизить существующий уровень опасности.

В таблице 19 представлен перечень мероприятий организационно-технического плана в зависимости от установленного уровня опасности предприятия.

Таблица 19 – Перечень рекомендаций по снижению риска аварий в зависимости от установленного уровня опасности

Уровень опасности (баллы)	Характеристика уровня опасности	Необходимые мероприятия
Чрезвычайно высокий (более 7)	грубые нарушения требований охраны труда и промышленной безопасности; частичное разрушение зданий и сооружений / технологического оборудования; возможны несчастные случаи с летальным исходом	Временная остановка деятельности предприятия; блокировка опасных зон; выполнение внеплановых капитальных ремонтов или усиления несущих конструкций цехов, фундаментов, оборудования; полная замена или глубокая модернизация аварийного технологического оборудования; проверка и ремонт всех систем аварийной сигнализации, вентиляции, пожаротушения и световой/звуковой сигнализации; переаттестация и обязательное обучение всего персонала, отстранение от работ неквалифицированных сотрудников; расследование несчастных случаев на производстве
Высокий (от 5 до 7)	частичное разрушение зданий и оборудования; возможны несчастные случаи различной степени тяжести	Локализованный ремонт и укрепление конструкций; корректировка планово-предупредительных ремонтов; замена изношенного оборудования или его частей; установка дополнительных средств защиты (ограждений, защитных кожухов); увеличение числа и регулярности инструктажей и обучений; проведение тренировок по эвакуации, оказанию ПМ; усиления контроля за соблюдением правил ППБ и ОТ, ужесточение контроля за допуском к работам повышенной опасности
Средний (от 3 до 5)	фиксируются незначительные нарушения требований охраны труда и промышленной безопасности; возможны редкие нарушения в ходе технологических процессов	Оперативное устранение нарушений; увеличение количества инструктажей, в том числе дополнительных тематических (по видам работ с большим количеством нарушений); корректировка графиков ТО в сторону увеличения их частоты для оборудования, где были зафиксированы сбои
Низкий (от 1 до 3)	предприятие функционирует в нормальном режиме, соответствует требованиям безопасности	регулярные инструктажи, обучение персонала, своевременная ремонт/модернизация оборудования

Выводы по главе 5

1. Разработано алгоритмическое обеспечение оценки риска аварий на предприятиях по производству золота и расчета удельной частоты риска

аварий, которые позволяют установить наиболее уязвимые участки производства.

2. Введена классификация критериев риска по степени управляемости (управляемые, частично управляемые, неуправляемые), что позволило дифференцировать подход к разработке мероприятий. Для управляемых рисков (технологические, конструктивные, частично критерии, связанные с человеческим фактором) сфокусированы меры прямого воздействия на причину их возникновения. Для частично управляемых и неуправляемых рисков (природные, внешние угрозы) акцент сделан на мероприятиях по минимизации последствий и повышению устойчивости предприятия.

3. Сформирован детализированный и индивидуализированный комплекс организационно-технических мероприятий, структурированный по группам критериев.

4. Предложенный подход обеспечивает адресность и рациональность использования ресурсов. Мероприятия не являются универсальными, а подбираются в зависимости от установленного для предприятия (или его участка) уровня опасности. Это позволяет сосредоточить усилия и финансовые вложения на наиболее значимых направлениях, обеспечивая эффективное снижение вероятности аварий и смягчение их возможных последствий, что в целом повышает уровень промышленной безопасности и устойчивости предприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой дано решение актуальной для металлургической отрасли задачи разработки метода оценки и управления риском аварий при производстве золота, основанного на идентификации опасностей для каждого участка технологической схемы, балльной оценки и выявлении наиболее уязвимых участков производства для минимизации или предотвращения аварийных ситуаций.

Основные выводы и рекомендации, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. Проведен анализ существующих методов по оценке риска аварий в металлургической отрасли и смежных отраслях, анализ существующих нормативных документов в области оценки риска аварий на опасных производственных объектах. Применяемые на данный момент методы носят общий характер и не учитывают специфику производства золота.
2. Определены опасности для основных и вспомогательных процессов производства золота, сформированы пять групп критериев: природные, технологические, конструктивные, непреднамеренный и преднамеренный человеческий фактор.
3. Разработан комплексный оценочный аппарат, позволяющий проводить оценку риска как для конкретного технологического процесса (приемная плавка, хлорная плавка, электролиз в «царской водке», плавка готовой продукции), так и для всей технологической цепочки в целом.
4. Методом экспертных оценок определена значимость групп критериев, каждого критерия отдельно и установлена их балльная оценка для различных категорий критериев.
5. На основании полученной балльной оценки сформированы четыре уровня опасности (низкий, средний, высокий и чрезвычайно высокий),

которые позволяют провести ранжирование помещений и определить необходимые меры по устранению и минимизации риска аварий.

6. В качестве показателя риска предлагается расчет удельной частоты риска аварий, который учитывает регион нахождения предприятия и его срок эксплуатации.

7. Проведена проверка разработанной методики на примере сравнительного расчета по двум предприятиям, осуществляющих аффинаж золота. На основании полученной балльной оценки предприятий были определены наиболее уязвимые участки технологической схемы, установлены уровни опасности.

8. Разработано алгоритмическое обеспечение оценки риска аварий для предприятий по производству золота и расчета удельной частоты риска аварий.

9. Предложены мероприятия организационного и технического характера для минимизации или устранения риска аварий в зависимости от установленного уровня опасности и по типу управляемости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аналитический бюллетень, выпуск 51. [Электронный ресурс] – URL: <https://riarating.ru/images/63024/99/630249997.pdf/> (дата обращения: 15.01.2024)
2. Симонин П.В., Фоменко Н.М., Кузьмина А.А. [и др.]. Стратегии золотодобывающих компаний, инвестиции в горнодобывающие машины и обеспечение устойчивости национальной экономики в условиях санкций / // Уголь. – 2023. – № 3(1165). – С. 96-103.
3. Gold Reserves by Country 2023. URL: <http://worldpopulationreview.com/country-rankings/gold-reserves-by-country> (дата обращения: 24.09.2024).
4. Шайлиева М. М., Нестеренко Ю. Н. Ретроспективный обзор и перспективы мирового и российского производства драгоценных металлов и меди // Региональная экономика. Юг России. Т. 13, № 1. С. 40–49. DOI: <https://doi.org/10.15688/re.volsu.2025.1.4>.
5. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
6. «О деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору», Москва. Годовой отчет за 2022 год». [Электронный ресурс] // URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/Пр-423%20от%202024.11.2023%20Годовой%20отчет%20.pdf (дата обращения: 22.06.2024).
7. Корчагин Д.П., Лебедева Е.А. Анализ причин чрезвычайных ситуаций на объектах металлургической отрасли // Сборник научных трудов конференции «Безопасность в чрезвычайных ситуациях». – 2018. – С. 93-100.
8. Константинова А.А., Меркулова А.М., Переладов А.И., Чавкина Л.Ю. Риск-ориентированный подход в обеспечении промышленной безопасности при добыче золотосодержащих руд // Горный информационно-

аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 100-112. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-100-112.

9. Balovtsev S.V., Merkulova A.M. Comprehensive assessment of buildings, structures and technical devices reliability of mining enterprises. MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2024;(3):170-181. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_3_0_170.

10. Василенок В.Л., Кагиян О.А., Негреева В.В. Исследование проблем охраны труда и их влияние на промышленную безопасность предприятий черной металлургии // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент. – 2019. – С. 41–50.

11. Распоряжение Правительства РФ от 28.12.2022 № 4260-р «О Стратегии развития metallurgicalской промышленности Российской Федерации на период до 2030 года».

12. Большая российская энциклопедия – электронная версия. [Электронный ресурс] URL: <https://old.bigenc.ru/> (дата обращения: 10.09.2024).

13. Руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». (утв. приказом Ростехнадзора от 03.11.2022 № 387).

14. Федотова И.В., Черникова Е.Ф., Некрасова М.М. Методические основы оценки профессионального риска. – Нижний Новгород, 2022. – 224 с.

15. Федеральный закон от 22 июля 2008 №123-ФЗ (ред. от 25.12.2023) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

16. Ветошкин А.Г., Марунин В.И. Надежность и безопасность технических систем / Под ред. доктора технических наук, профессора, академика МАНЭБ А.Г. Ветошкина – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2002. - с.: ил., библиогр.

17. ГОСТ 51091.1 – 2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем.

18. Заернюк В.М., Снитков Н.О. Подходы к оценке техногенных рисков в золотодобывающей отрасли // Известия вузов. Геология и разведка. – 2016. - №5. – С. 74 – 78.
19. Имангазин М.К. Количественная оценка рисков опасности травматизма по методу Киннея на Аксуском заводе ферросплавов в период с 2010 по 2012 г.г. // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. – 2014. - №1. – С. 418-426.
20. Чербачи Ю.В., Брусько О.А. Методы и этапы оценки риска применительно к техногенным авариям на нефтеперерабатывающих терминалах // Научные тенденции: вопросы точных и технических наук. – 2017. – С. 28 – 31.
21. Кухта А.И., Маматченко Н.С. Комплексный метод оценки степени профессиональных рисков на предприятии // Безопасность техногенных и природных систем. – 2019. – №1. – С. 18-27.
22. Гвоздев Е.В. Анализ критериев и методов оценки организационных рисков на взрывопожароопасных предприятиях // Безопасность труда в промышленности. 2025. № 7. С. 48–55. DOI: 10.24000/0409-2961-2025-7-48-55.
23. Дубровский В.В. Детерминированный расчет риска аварий металлургических кранов // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. - №2. – С. 43 – 46.
24. Труфанова П.С., Едыгеева А.Т., Кулиш Н.В. Математические методы оценки риска на объектах подземного хранения газа нефтегазовой отрасли // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2024. – № 2(242). – С. 77-83.
25. Оценка профессиональных рисков на рабочем месте помощника бурильщика на основе комплексного применения матрицы рисков и метода подсчета Борда. Карчина Е.И., Иванова М.В., Волохина А.Т., Глебова Е.В. Безопасность труда в промышленности. 2024. № 8. С. 68-74.

26. Ниметулаева Г.Ш. О методах оценки профессионального и экологического риска в области охраны труда // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. - №5. С. 75 – 93.
27. Домнина О.Л., Пластиинин А.Е., Маценко С.В., Отделкин Н.С. Идентификация событий при разливах нефти с судов и объектов транспортной инфраструктуры // Морские интеллектуальные технологии. – 2024. №2 часть 2. – С. 79-88. DOI: 10.37220/МИТ.2024.66.4.062.
28. Левин С.Н., Лаврентьева А.Н., Васильев Г.Г. Анализ методов оценки риска аварий и идентификации опасностей при разработке мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2011. - №4. С. 141 – 151.
29. Федорец, А. Г. Качественные и количественные методы оценки величины риска / А. Г. Федорец // Безопасность и охрана труда. – 2021. – № 4(89). – С. 24-32. – DOI 10.54904/52952_2021_4_24.
30. ГОСТ Р 58771-2019 Менеджмент риска. Технологии оценки риска.
31. Белов П.Г. Теоретические основы менеджмента техногенного риска. автореф. дис. доктора техн. наук: 05.26.03. — Москва, 2007. 33с.
32. Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности» (утв. приказом Ростехнадзора от 28.11.2022 № 414).
33. Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа» (утв. приказом Ростехнадзора от 22.12.2022 № 454).
34. Руководство по безопасности «Методические рекомендации по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на угольных шахтах» (утв. приказом Ростехнадзора от 25.07.2023 №276).
35. Бикмухаметов М.Г. Усовершенствование методики оценки риска возникновения аварийных ситуаций предприятий черной металлургии: На

примере ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат": автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.03. — Магнитогорск, 2004. 25 с.

36. Тимиргалиева Л.Ш. Разработка методики оценки и прогнозирования риска аварийных ситуаций с целью повышения устойчивости коксохимического предприятия: на примере коксохимического производства ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат": автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.03. — Кемерово, 2008. 21 с.

37. Еремин А.К. Риск аварийного обрушения металлических каркасов эксплуатируемых одноэтажных промышленных зданий: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01. — Магнитогорск, 2006. 22 с.

38. Маstryukov B.C., Rяузова B.B., Fомичева O.A., Rяузова A.A., Стринжа C.B., Жоглев M.P., Новожилова C.Ю. Оценка потенциальной опасности подразделений литейно-прокатного комплекса ООО «ОМК-Сталь» в г. Выкса // Металлург. — 2009. — №7. — С.27-30.

39. Fомичева O.A. Оценка производственной безопасности металлургического производства (на примере литейно-прокатного комплекса): автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.01. — Москва, 2010. 19 с.

40. Карнаух M.H. Методика модернизации системы управления промышленной безопасностью металлургического комбината: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.03. — Москва, 2004. 28 с.

41. Кравчук И.Л. Теоретические основы и методы формирования системы обеспечения безопасности производства горнодобывающего предприятия: автореф. дис. доктора. техн. наук: 05.26.01. — Москва, 2001.

42. Артюшин Ю.И. Методические основы оценки и управления рисками чрезвычайных ситуаций горнодобывающих регионов: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.10. — Москва, 2002.

43. Файнбург Г.З., Розенфельд Е.Д. Разработка методологии оценки совокупного риска комплекса опасностей подземных горнодобывающих предприятий // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2023. — С.108-125.

44. Заернюк В.В., Снитко Н.О. Подходы к оценке техногенных рисков в золотодобывающей отрасли // Извести вузов. Геология и разведка. – 2016. – №5. – С. 73 – 78.
45. Лисанов М.В. Анализ риска в управлении промышленной безопасностью опасных производственных объектов нефтегазового комплекса: автореф. дис. доктора техн. наук: 05.26.03. – Москва, 2004. 28 с
46. Гражданкин А.В. Анализ опасностей и оценка риска крупных аварий в нефтегазовой промышленности: автореф. дис. доктора техн. наук: 05.26.03. – Москва, 2017. 50 с.
47. Овчаров С.В. Разработка методов анализа риска эксплуатации магистральных трубопроводов: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.15.13. – Москва, 1997. 26 с.
48. Савина А.В. Анализ риска аварий при обосновании безопасных расстояний от магистральных трубопроводов сжиженного углеводородного газа до объектов с присутствием людей: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.03. – Москва, 2013. 26 с.
49. Суворова В.В. Идентификация и категорирование опасностей объектов газораспределительных систем : автореферат дис. канд. техн. наук : 05.26.03. – Москва, 2006. 24 с.
50. Коробов А.В. Оценка профессионального риска работников ТЭК как одного из основных элементов системы управления охраной труда: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.01. – Москва, 2017. 20 с.
51. Хенли Э.Д., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1984, 528 с.
52. Маршалл В. Основные опасности химических производств: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
53. Qingwei Xu, Kaili Xu. Statistical Analysis and Prediction of Fatal Accidents in the Metallurgical Industry in China. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020, vol. 17(11), p. 3790. DOI: 10.3390/ijerph17113790.

54. Zeqiri Kemajl, Mijalkovski Stojance, Ibishi Gzim, Mojsiu Lavdie Ledi. Comprehensive analysis of the mining accident forecasting and risk assessment methodologies: Case study – Stanterg Mine. *Mining of Mineral Deposits*. 2024, no. 2, pp. 11-17. DOI: 10.33271/mining18.02.011.

55. Түйтебаева, Динара Салтанатовна. Разработка интегрированной системы управления качеством с учетом риск-менеджмента в нефтегазовом комплексе Республики Казахстан: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.23. – Москва, 2013. 30 с.

56. Имангазин М.К. Оценка риска опасности аварий на золоторудном месторождении Жиланды Актюбинской области Республики Казахстан // Успехи современной науки. – 2017. - №2. – С. 143 – 150.

57. Саттарова Г.Н., Байтуганова М.О., Акимбекова Н.Н. Применение экспертного метода оценки риска аварий на горнодобывающих предприятиях // Труды университета. – 2017. - №3.– С. 50-54.

58. Иманов Р.Н., Мамедова С.И. Проблемы оценки риска возникновения аварий на резервуарных парках нефтеперерабатывающих предприятий Республики Азербайджан // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2018. – С. 152 – 157.

59. Lööw, J., Nygren, M. Initiatives for increased safety in the Swedish mining industry: Studying 30 years of improved accident rates // Safety Science. 2019. pp.437-446.

60. Bonsu J., Dyk van W., Franzidis J-P, Petersen F., Isafiade A. A system approach to mining safety: an application of the Swiss Cheese Model // The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2016. pp. 777-784.

61. Bernaldez I., Soriano V. Risk assessment for Small Scale Gold Surface Mining at Licuan Baay, Abra in the Philippines // Springer International Publishing. 2018. pp. 851-856.

62. Лесков М.И., Баушев С.С. Золотодобывающая промышленность России: текущее состояние и перспективы // Золото и технологии. – 2023. - №2. – С. 48 – 56.

63. Вестник золотопромышленника. [Электронный ресурс] // URL: <https://gold.1prime.ru> (дата обращения: 14.11.2024).
64. Указ Президента РФ "О перечне сведений, отнесенных к государственной тайне" № 61 от 24 января 1998 г.
65. Зайцев С.П., Дубровин К.Э. Производство драгоценных металлов // Энциклопедия технологий. Эволюция и сравнительный анализ ресурсной эффективности промышленных технологий. – 2019. – С. 305–345.
66. Постановление Правительства РФ «Об утверждении Порядка работы организаций, осуществляющих аффинаж драгоценных металлов, и перечня организаций, имеющих право осуществлять аффинаж драгоценных металлов» №972 от 17 августа 1998 г.
67. Стрижко Л.С. Металлургия золота и серебра. – М.: МИСиС, 2001. – 333 с.
68. Масленицкий И, Чугаев Л., Борбат В. и др. Металлургия благородных металлов /. – М.: Металлургия, 1987. – 217 с.
69. Ahtiainen R., Lundstrom M. Cyanide-free gold leaching in exceptionally mild chloride solutions // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 234. P. 9–17.
70. Adams M. D. Gold ore processing. Project development and operations. — Amsterdam : Elsevier, 2016.
71. Бусев А.И., Иванов В.М. Аналитическая химия золота. – М.: Наука, 1973. – 263 с.
72. Кузиванов А. Ф., Дуплинский А. М. Электрохимический аффинаж золота в царсководочном электролите // Цв. мет.: Международный научно-технический и производственный журнал. - 2004. - № 6. - С. 68-70.
73. ИТС 14–2020. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство драгоценных металлов".
74. Меркулова А.М., Чавкина Л.Ю. Оценка риска аварий на предприятиях по производству золота// Безопасность труда в

промышленности. 2025. № 4. С. 62–67. DOI: 10.24000/0409-2961-2025-4-62-67.

75. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2024 году». URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/vse-dokumenty/7807> (дата обращения: 16.07.2025).

76. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2023 году». URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/7343> (дата обращения: 21.04.2025).

77. Гидрометцентр. Типовой перечень и критерии опасных метеорологических явлений [Электронный ресурс] – URL: <https://meteoinfo.ru/hazards-definitions> (дата обращения: 21.04.2025).

78. Глобальные изменения климата и Центральный федеральный округ. На пути к адаптации. – Санкт-Петербург: Климатический центр Росгидромета, 2021. – 21 с.

79. Чрезвычайные ситуации, характерные для Красноярского края, присущие им опасности для населения и возможные способы защиты от них работников университета. – 2019. [Электронный ресурс] // URL: http://www.kgau.ru/new/student/32/2/tema_7.pdf (дата обращения: 27.01.2025).

80. Енин Д.В. Чрезвычайные ситуации и их динамика в Российской Федерации // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2019. – С. 56 – 61.

81. Королев Д.С., Вытовтов А.В., Куприенко П.С., Русских Е.А. Статистический анализ чрезвычайных ситуаций природного характера в мире и на территории Российской Федерации // Техносферная безопасность. – 2023. - №3. – С. 131-138.

82. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. – Москва: Росгидромет, 2022. – 110 с.

83. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е, пер. и доп. В трех томах. Том III. Неорганические и элементорганические соединения. Под ред. Засл. Деят. Науки проф. Н.В. Лазарева и докт. Биол. Наук проф. И.Д. Гадаскиной. Л., «Химия» - 1977.
84. Иванова Л.И., Гробова Л.С., Сокунов Б.А., Сарапулов С.Ф. Индукционные тигельные печи. Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Екатеринбург: Изд-во УГТУ - УПИ, 2002. 87 с.
85. Байбурин, Д.А., Тушицына Д.С. Частотность дефектов и повреждений промышленных зданий // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2022. – Т. 22, № 1. – С. 23–32. DOI: 10.14529/build220103.
86. Чернышева А.С., Наркевич М.Ю., Попов Д.В., Митрофанов В.В. Анализ распределения дефектов и повреждений зданий и сооружений на опасных производственных объектах металлургических предприятий // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2025. – Т.16. №2. – С. 12-16.
87. Дрокин, С. В. Дефекты и повреждения строительных конструкций: учебное пособие / С. В. Дрокин, Н. В. Фролов. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2025. – 83 с.
88. Рекомендации по оценке строительных конструкций по внешним признакам. – М.: АО ЦНИИпромзданий, 2001.
89. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований.
90. Баловцев С. В., Меркулова А. М. Комплексная оценка надежности зданий, сооружений и технических устройств горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 3. – С. 170–181. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_3_0_170.
91. Зиновьева О. М., Смирнова Н. А. К вопросу оценки надежности технических устройств на горных предприятиях // Горный информационно-

аналитический бюллетень. – 2024. – № 1. – С. 157–168. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_1_0_157.

92. Трекин Н. Н., Кодыш Э. Н., Щедрин О. С. Совершенствование методов расчета несущих конструкций // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 8. – С. 14-20. – DOI 10.33622/0869-7019.2023.08.14-20.

93. Арефьева Н.М., Чавкина Л.Ю. Оценка влияния человеческого фактора на промышленную безопасность предприятий цветной металлургии// Безопасность труда в промышленности. 2024. № 5. С. 80–85. DOI: 10.24000/0409-2961-2024-5-80-85.

94. Зиновьева О.М., Меркулова А.М., Смирнова Н.А., Щербакова Е.А. К вопросу управления психосоциальными рисками в горном деле/ // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 1. С. 20–33. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_20.

95. Кабанов Е.И. Анализ риска аварий на угольных шахтах с учетом человеческого фактора // Горный журнал. 2023. № 9. С. 48-54. DOI: 10.17580/gzh.2023.09.07.

96. Комаричева Е.И., Виноградова О.В. Проблемы подготовки специалистов для обеспечения безопасности в горнодобывающей промышленности// Безопасность труда в промышленности. 2023. № 2. С. 88–94. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-2-88-94.

97. Дементьева Ю. В. Влияние стажа работы на производственный травматизм // Мир транспорта. 2015. Т. 13. № 1 (56). С. 198-204.

98. . J. Bonsu, W. Van Dyk, J-P. Franzidis, F. Petersen, A. Isafiade. A systemic study of mining accident causality: an analysis of 91 mining accidents from a platinum mine in South Africa. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2017, vol. 117, pp. 59–66. <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2017/v117n1a9>.

99. Zhemchugova V. S., Ivanova M. V., Volokhina A. T., Glebova E. V., Korobov A. V., Khafizov I. F. Analiz urovnya kul'tury proizvodstvennoi

bezopasnosti na predpriyatiii toplivno-energeticheskogo kompleksa [Analysis of the Level of Industrial Safety Culture at a Fuel and Energy Complex Enterprise]. Setevoe izdanie «Neftegazovoe delo» – Network Journal «Oil and Gas Business», 2025, No. 1, pp. 70–92 [in Russian]. <https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2025-1-70-92>.

100. Волохина А.Т. Компетентностный подход к персоналу для обеспечения промышленной безопасности на предприятиях магистрального транспортного газа // Журнал "АГЗК+АТ", 2019. Т. 18. № 2. С. 206–215.

101. Lund, E., Pekkari, A., Johansson, J. et al. Mining 4.0 and its effects on work environment, competence, organisation and society – a scoping review. Miner Econ 37, 827–840 (2024). <https://doi.org/10.1007/s13563-024-00427-0>.

102. WANG Meng, TANG Jiaxuan, MA Yanping, LI Yuxi, CHAI Shugang. Relevant knowledge of competent person in mining capital markets of major mining countries in the world[J]. CHINA MINING MAGAZINE, 2020, 29(6): 27-33. DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.2020.06.010.

103. Lodgaard E., Torvatn H., Sorumsbrenden J. Future competence at shopfloor in the era of Industry 4.0-A case study in Norwegian industry //Procedia CIRP. – 2022. – Т. 107. – С. 961-965. DOI: 10.1016/j.procir.2022.05.092.

104. Zwetsloot G. I. J. M., Burke R. J., Richardson A. M. (Eds.). Shared values for health, safety and well-being at work (Creating psychologically healthy workplaces). Edward Elgar Publishing. 2019, pp. 91–111. DOI: 10.4337/9781788113427.

105. Shea T., De Cieri H., Donohue R., Cooper B., Sheehan C. Leading indicators of occupational health and safety: An employee and workplace level validation study // Safety Science. 2016, vol. 85, pp. 293–304. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.01.015.

106. Арефьева Н.М., Горячев С.В., Зайцев И.Л., Чавкина Л.Ю. Анализ причин аварийности и травматизма на опасных производственных объектах металлургии// Безопасность труда в промышленности. 2025. № 5. С. 63–68. DOI: 10.24000/0409-2961-2025-5-63-68

107. Анализ производственного травматизма в России (в том числе со смертельным исходом) URL:
https://www.admsayansk.ru/pub/img/rubrics/2939/02-74-4297_25_15_10_2025_analiz_proizvodstvennogo_travmatizma_v_rossii.pdf?ysclid=mkh98vq2su230264440 (дата обращения 12.01.2026).
108. Wang, G., Pei, J. Macro risk: A versatile and universal strategy for measuring the overall safety of hazardous industrial installations in China// International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019. №10. № vol. 1680.
109. Tsouli D. Terrorism: the impact on entrepreneurship //Handbook of Research on Entrepreneurship and Conflict. – Edward Elgar Publishing, 2024. – C. 145-166.
110. Beňová P., Hošková-Mayerová Š., Navrátil J. Terrorist attacks on selected soft targets //Journal of Security & Sustainability Issues. – 2019. – T. 8. – №. 3.
111. Li Z. et al. Quantitative analysis of global terrorist attacks based on the global terrorism database //Sustainability. – 2021. – T. 13. – №. 14. – C. 7598.
112. Марычева, П.Г. Методика оценки компетентности экспертов / П.Г. Марычева // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2018. – № 4(60). – C. 29–40.
113. Загорская А.В., Лапидус А.А. Применение методов экспертной оценки в научном исследовании. Необходимое количество экспертов. //Научно-технический журнал «Строительное производство». – 2020. - №3. – С. 21–34.
114. Постников В.М. Анализ подходов к формированию экспертной группы, ориентированной на подготовку и принятие решений // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. - №5. С. 333–346.

115. Рупосов В. Л. Методы определения количества экспертов // Вестник ИрГТУ. Социально-экономические и общественные науки. - 2015. - № 3 (98). - С. 286–292.

116. Рыбалов Э.А., Фомина Ек.Е., Фомина Ел.Е. Применение методов экспертных оценок при анализе опасности нефтяных и газовых скважин в состоянии консервации или ликвидации // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2022. № 2. С.49-55.

117. Меркулова А.М., Чавкина Л.Ю. Разработка метода балльной оценки риска аварий при производстве золота // Безопасность труда в промышленности. 2025. № 11. С. 35–39. DOI: 10.24000/0409-2961-2025-11-35-39.

118. Технический регламент таможенного союза ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты».

119. Безопасность России. Безопасность строительного комплекса / рук. авторского кол-ва Н.А. Махутов, О.И. Лобов, К.И. Ерёмин. – М.: МГОФ «Знание», 2012. – 798 с.

120. Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. / под ред. К.И. Ерёмина. – М.: МДП, 2008. – Вып. 7. – 360 с.

Приложение А

Идентификация опасностей для предприятий по производству золота

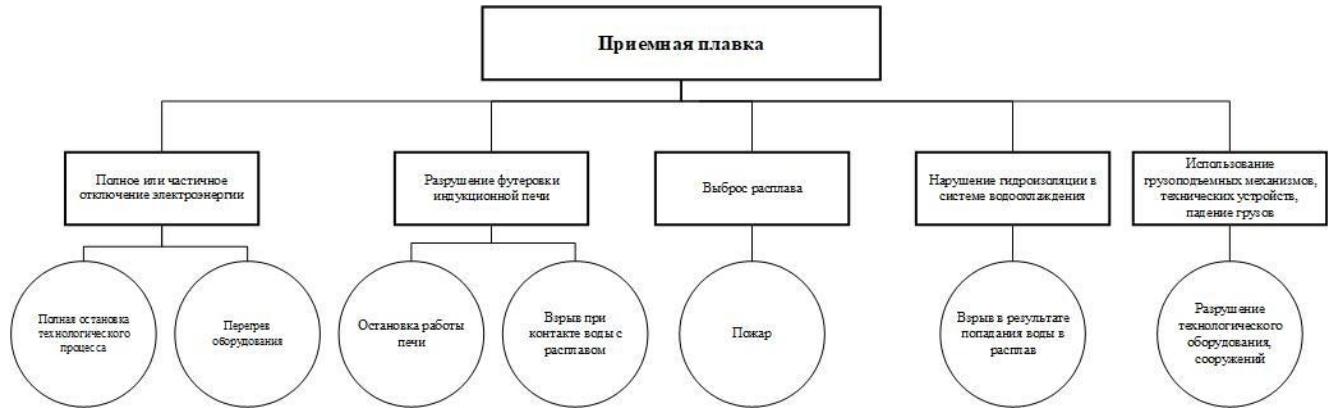


Рисунок 1 – Идентификация опасностей для процесса приемной плавки



Рисунок 2 – Идентификация опасностей для процесса хлорной плавки



Рисунок 3 – Идентификация опасностей для процесса электролиза в «царской водке»

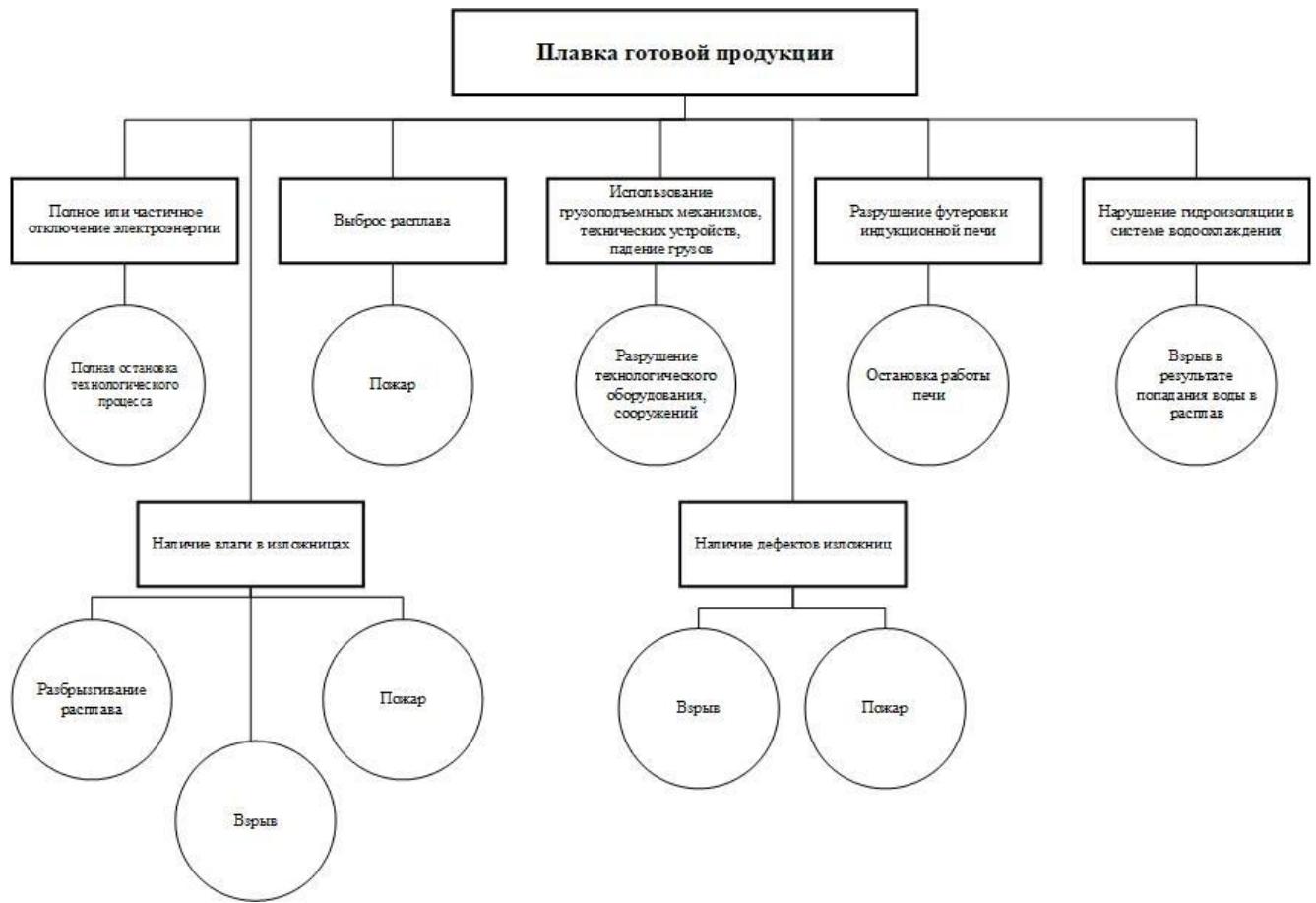


Рисунок 4 – Идентификация опасностей для процесса плавки готовой продукции

Приложение Б
Расчет коэффициента конкордации

Критерий	Категории	Экспертная балльная оценка критерия													Коэффициент конкордации Кендала		
		Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Э7	Э8	Э9	Э10	Э11	Э12	Э13	Э14		
F_{2-1}	1	10	9	10	10	10	10	9	10	9	5	9	9	9	10	0,704	
	2	6	6	0	6	7	3	10	2	1	8	3	9	9	9		
	3	1	0	0	6	5	3	2	2	1	7	1	1	2	1		
F_{2-2}	1	10	10	10	10	10	6	10	7	9	10	10	9	10	9	0,874	
	2	6	4	8	9	8	6	7	7	3	8	6	6	6	8		
	3	1	1	2	0	1	1	1	1	2	2	0	3	1	1		
F_{2-3}	1	10	9	10	9	8	10	10	7	8	10	10	10	10	9	0,910	
	2	5	6	5	4	4	7	5	5	6	5	5	8	6	6		
	3	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0		
F_{2-4}	1	10	9	10	10	10	6	10	7	10	10	10	7	8	10	0,905	
	2	7	6	6	5	7	6	4	6	8	7	1	6	4	5		
	3	2	2	3	2	5	1	1	1	2	1	2	0	3	0		
F_{2-5}	1	9	8	10	7	8	8	9	10	6	7	10	10	5	10	10	0,877
	2	5	2	8	5	4	6	6	3	4	7	5	4	3	4	4	
	3	2	2	4	0	1	5	1	2	3	2	2	0	4	3	1	
F_{2-6}	1	8	10	9	10	10	8	9	10	10	8	8	10	10	10	9	0,950
	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
F_{2-7}	1	2	8	5	7	8	6	9	4	3	7	7	6	8	6	1	0,941
	2	1	1	0	0	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
F_{2-8}	1	9	6	5	8	5	5	7	5	5	6	5	6	7	5	1	0,876
	2	1	1	0	0	1	1	1	1	0	2	0	0	0	0	1	
F_{2-9}	1	8	5	9	8	8	5	7	7	5	8	3	7	8	7	2	0,887
	2	4	2	5	4	4	4	5	5	5	6	3	5	4	4	8	
	3	1	1	1	2	3	1	4	1	3	1	1	1	1	1	1	
F_{2-10}	1	10	9	10	9	10	9	9	5	7	10	9	6	10	10	10	0,969
	2	10	7	5	5	7	5	4	3	2	8	4	4	4	5	3	
	3	0	0	1	0	0	1	2	1	0	2	0	0	1	1	1	
F_{2-11}	1	10	9	8	10	6	7	8	9	9	10	7	10	10	9	8	0,876
	2	3	4	8	6	4	4	3	3	3	5	7	3	1	7	2	
	3	2	0	1	1	1	1	1	1	0	2	0	0	1	1	2	
F_{2-12}	1	10	6	8	9	9	8	9	9	10	10	6	7	7	9	10	0,940
	2	2	6	7	5	5	4	7	6	5	7	6	3	3	5	8	
	3	1	1	1	1	2	1	3	2	0	2	1	1	1	1	0	
F_{2-13}	1	10	10	9	10	10	7	8	10	10	9	9	10	10	10	9	0,812
	2	7	7	7	8	8	6	7	5	7	7	7	7	6	7	6	
	3	2	2	3	4	2	1	2	2	0	2	1	0	3	2	2	
F_{2-14}	1	10	10	10	10	10	10	9	8	9	10	10	9	9	9	10	0,784
	2	1	1	6	1	8	1	1	1	1	5	2	1	1	0	0	
F_{2-15}	1	10	10	5	10	10	6	10	5	10	10	9	8	10	9	9	0,825

	2	4	3	8	4	6	1	4	3	4	5	2	5	4	3	4	
	3	1	1	0	1	1	3	2	2	0	1	1	1	1	0	0	
F_{2-16}	1	10	9	8	10	10	8	7	9	8	10	8	10	9	10	10	0,982
	2	0	0	1	1	1	1	1	1	0	4	3	1	1	1	0	
F_{2-17}	1	8	9	7	8	8	6	8	8	7	10	8	8	6	9	8	0,866
	2	4	3	4	4	4	3	6	5	3	6	4	5	4	4	2	
	3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	3	1	1	1	1	1	
F_{2-18}	1	6	5	7	6	7	5	7	6	7	7	8	8	7	6	5	0,978
	2	0	0	1	3	2	1	1	2	1	4	2	1	0	0	1	
F_{3-1}	1	10	10	10	10	10	9	9	10	10	10	8	10	10	9	10	0,908
	2	5	3	4	6	6	5	4	5	4	4	3	4	3	4	5	
	3	1	2	1	0	0	1	1	1	0	2	0	1	1	1	1	
F_{3-2}	1	10	10	10	10	10	9	10	8	6	10	9	8	7	10	10	0,948
	2	5	5	4	6	5	4	7	5	4	4	3	4	4	3	5	
	3	1	1	1	1	0	1	1	1	0	2	1	1	1	0	0	
F_{3-3}	1	9	9	8	10	10	9	10	7	10	9	9	9	9	8	9	0,745
	2	4	3	5	4	5	4	4	3	3	2	6	4	5	4	4	
	3	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1	3	5	2	
F_{3-4}	1	10	10	8	10	10	6	9	8	10	10	10	10	9	10	9	0,797
	2	6	6	5	8	8	7	6	6	8	6	6	7	6	5	7	
	3	2	2	1	3	1	1	2	2	2	2	2	1	4	3	2	
F_{3-5}	1	8	8	8	8	10	10	9	8	10	10	8	9	7	8	8	0,821
	2	5	6	4	4	5	4	6	6	4	5	4	4	3	0	4	
	3	1	1	1	0	2	3	1	2	0	1	2	1	1	1	0	
F_{3-6}	1	5	4	4	4	5	1	5	3	4	5	0	3	5	1	2	0,775
	2	0	0	0	1	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	
F_{4-1}	1	8	8	10	8	9	7	8	8	9	9	7	10	8	6	8	0,792
	2	4	1	4	5	4	5	6	3	4	4	5	6	4	1	3	
	3	1	0	1	2	1	1	1	1	0	2	0	3	1	1	2	
F_{4-2}	1	10	9	10	10	9	10	8	10	9	9	8	8	10	10	8	0,939
	2	4	4	5	5	4	5	6	3	3	4	3	2	3	3	4	
	3	0	0	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	0	0	
F_{4-3}	1	10	7	8	7	7	8	6	8	6	7	7	7	8	7	8	0,834
	2	4	4	3	5	5	4	5	4	3	8	4	3	5	5	6	
	3	3	3	2	4	3	2	3	3	1	2	2	3	2	2	1	
	4	1	0	1	2	2	3	1	1	1	1	3	1	1	2	2	
F_{4-4}	1	9	7	7	7	7	5	7	7	8	10	7	9	7	6	7	0,765
	2	3	1	4	3	4	3	6	2	2	1	2	3	1	2	0	
	3	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	
F_{5-1}	1	10	9	10	10	10	10	10	8	10	10	10	10	10	10	10	0,675
	2	6	7	6	8	8	6	7	6	6	8	6	6	2	6	10	
	3	2	2	1	3	4	2	5	1	2	6	5	2	2	2	4	
F_{5-2}	1	9	5	8	9	9	7	9	8	9	9	8	10	9	10	10	0,798
	2	3	3	5	3	4	2	3	1	2	3	3	4	1	5	3	
	3	1	0	2	1	1	2	1	0	3	1	0	1	1	1	2	

F_{5-3}	1	10	9	8	7	7	5	10	9	8	10	10	7	10	10	10	0,791
	2	5	1	5	4	4	2	6	7	4	8	5	4	7	5	6	
	3	0	0	1	1	1	1	2	2	1	6	0	1	1	1	1	

Приложение В

Установление балльных оценок критериев

Наименование критерия	N	Категория	Балл
Группа критерии «Природные»			
Высокие уровни воды (половодье, дождевой паводок, затор, захор)	<i>F₁₋₁</i>	Предприятие расположено в непосредственной близости к водоемам, фиксируются регулярные случаи затопления местности	10
		Предприятие расположено в зоне возможного затопления при аномальном паводке	5
		Предприятие расположено на возвышенности, вне пойм. Случаев подтопления не зафиксировано.	1
Комплекс неблагоприятных явлений	<i>F₁₋₂</i>	Регион характерен частыми и мощными циклонами, вызывающими синергетический эффект (например, мокрый снег с ураганным ветром, приводящий к массовым обрывам ЛЭП и блокировке дорог). Прогноз и противодействие затруднены.	9
		Периодически (раз в несколько лет) наблюдаются циклические явления (глубокий циклон), приносящие одновременно сильный ветер и осадки. Последствия управляемы	6
		Региону не свойственно сочетание нескольких опасных явлений одновременно. Явления носят локальный и кратковременный характер.	2
Крупный град	<i>F₁₋₃</i>	Регион находится в зоне высокой градовой активности (например, предгорья). Возможен град диаметром >3 см	9
		Град диаметром 2-3 см возможен раз в 5-10 лет	3
		Район относится к зоне низкой градоопасности. Случаи града единичны и незначительны (несколько раз в год)	1
Сильный ливень	<i>F₁₋₄</i>	Предприятие расположено в горной местности или у подножия склонов. Существует риск формирования селевых потоков при ливнях	10
		Предприятие имеет значительные площади нарушенных земель, ливни могут вызывать кратковременные затопления низин	5
		Местность равнинная, хорошо дренируемая. Интенсивные осадки не приводят к подтоплениям.	1
Лесные (и другие природные) пожары	<i>F₁₋₅</i>	Предприятие находится в непосредственной близости к лесному массиву высокой природной горючести	9
		Лесные массивы находятся на расстоянии 1-3 км. Существует сезонная пожарная опасность	6
		Предприятие окружено минимальной растительностью, расстояние до лесного массива >5 км.	1
Сильный ветер, ураганный ветер	<i>F₁₋₆</i>	Ураганные ветра (>30 м/с) — регулярное сезонное явление.	10
		Регион характеризуется периодическими сильными ветрами (10-30 м/с)	6
		Местность защищена рельефом. Преобладающие ветра слабые и умеренные, скорость ветра до 10 м/с	1
Группа критерии "Технологические"			

Основные процессы			
Полное или частичное отключение электроэнергии	F_{2-1}	Полное отключение электроэнергии на длительное время (более нескольких минут)	10
		Кратковременное отключение электричества (от нескольких секунд до нескольких минут)	5
		Кратковременное отключение электроэнергии (не более 1-2 секунд)	1
Разрушение футеровки индукционной печи	F_{2-2}	Физический износ футеровки печи, превышение температуры процесса $>1200^{\circ}\text{C}$	10
		Наличие небольших трещин на футеровки печи, перегрев отдельных зон печи	6
		Футеровка печи без дефектов, соблюдение температурного режима	1
Выброс расплава	F_{2-3}	Наличие расплавленного материала >50 кг.	10
		Наличие расплавленного материала ≤ 50 кг.	5
		Расплавленный материал отсутствует	0
Нарушение в работе грузоподъемных механизмов, технических устройств, падение грузов	F_{2-4}	Эксплуатация неисправных механизмов с видимыми дефектами вследствие износа	10
		Наличие видимых дефектов, не влияющих на работу механизмов, устройств	6
		Отсутствие видимых дефектов	2
Нарушение гидроизоляции в системе водоохлаждения индукционной печи	F_{2-5}	Значительные утечки воды непосредственно в зону нагрева (тигель, индуктор)	10
		Редкие инциденты утечки воды	4
		Отсутствие инцидентов по утечке воды	1
Наличие газообразного хлора	F_{2-6}	Применение газообразного хлора в технологических процессах	10
		Газообразный хлор отсутствует	0
Химически агрессивная среда	F_{2-7}	Наличие агрессивной среды (царско-водочный электролит)	7
		Отсутствие агрессивной среды	0
Дефекты электродов	F_{2-8}	Наличие дефектов электродов (трещины, отслоения, пузыри)	5
		Электроды без видимых дефектов	1
Повышенная температура электролита	F_{2-9}	Отклонение температуры электролита на более, чем 10°C	8
		Отклонение температуры электролита не более, чем на 10°C	4
		Поддержание температуры электролита на уровне 70°C	1
Дефекты изложниц	F_{2-10}	Глубокие трещины и царапины на поверхности изложницы	10
		Неглубокие трещины и царапины вследствие естественного износа изложницы	4
		Поверхность изложницы без видимых дефектов	1
Влага в изложницах	F_{2-11}	Мокрые изложницы	10
		Присутствие следов влаги на стенках изложниц, недостаточно хорошо просушенных после чистки	3
		Сухая поверхность изложницы без видимых признаков влаги	1
Вспомогательные процессы			

Нарушение условий хранения соляной и азотной кислот	F_{2-12}	Нарушения целостности емкостей хранения, отсутствие маркировок	10
		Отсутствие маркировок	6
		Наличие исправной емкости хранения с соответствующими маркировками	1
Нарушение условий хранения газообразного хлора	F_{2-13}	Видимые повреждения баллонов, отсутствие креплений, заглушки и т.д.	10
		Отсутствие маркировок, знаков опасности; неправильное складирование баллонов	7
		Баллоны с хлором без видимых дефектов и нарушений	2
Наличие высокой температуры при сушке катодного золота	F_{2-14}	Критическое превышение температуры процесса свыше 500°C	10
		Поддержание температуры процесса на уровне 500°C	1
Засорение рукавного фильтра	F_{2-15}	Полностью забитый фильтр, нарушение условий эксплуатации фильтра, остановка технологического процесса	10
		Частичный засор фильтра, работоспособность сохраняется, но необходима очистка системы	4
		Минимальное количество загрязнений в фильтре, исправная работа рукавного фильтра	1
Перегрев рукавного фильтра	F_{2-16}	Выявление дефектов при визуальной оценке: изменение цвета рукава, появление трещин, разрывов, копоти	10
		При визуальном осмотре дефектов не выявлено, работоспособность фильтра сохраняется	1
Забивание форсунок скруббера	F_{2-17}	Забитые фильтры, нарушение условий эксплуатации фильтра, остановка технологического процесса	8
		Присутствует частичный засор фильтра, работоспособность скруббера сохраняется, но необходима очистка системы	4
		Функционирование всех узлов скруббера, минимальное количество загрязнений в фильтрах	1
Перегрев скруббера	F_{2-18}	Выявление дефектов при визуальной оценке: изменение цвета стенок скруббера (желтоватый или буроватый оттенок), появление трещин на корпусе, запаха гари	6
		При визуальном осмотре дефектов не выявлено, работоспособность скруббера сохраняется	1
Группа критериев "Конструктивные"			
Ошибки проектирования	F_{3-1}	Несоответствие расчетных моделей реальным условиям строительства и эксплуатации	10
		Конструктивные ошибки в отдельных элементах зданий/конструкций	4
		Соответствие расчетных моделей реальным условиям строительства и эксплуатации	1

Использование некачественных и дефектных строительных материалов	F_{3-2}	Отсутствие документов, удостоверяющих качество строительных конструкций и материалов согласно проекту	10
		Наличие документов, подтверждающих использование менее качественных материалов, но близких по своим свойствам и характеристикам к материалам, установленным проектом	5
		Наличие документов, удостоверяющих качество строительных конструкций и материалов согласно проекту	1
Трещины (технологические, усадочные, волосные, продольные, вертикальные, сквозные)	F_{3-3}	Наличие сквозных трещин; трещины с динамическим раскрытием	9
		Трещины значительного раскрытия (более 0.3-0.5 мм); трещины в несущих стенах в большом количестве	4
		Поверхностные трещины в ненесущих элементах; трещины раскрытием до 0.2-0.3 мм, не проникающие глубоко в конструкцию	2
Коррозия металлических конструкций	F_{3-4}	Сквозная коррозия несущих элементов; глубокие очаги коррозии по всей конструкции; видимые деформации, вызванные коррозией	10
		Равномерная поверхностная коррозия; коррозия в местах соединений (сварные швы, болты); отслоение защитного покрытия (краски)	6
		Незначительная поверхностная ржавчина, не влияющая на несущую способность; конструкция имеет целостное анткоррозионное покрытие	2
Превышение проектных нагрузок	F_{3-5}	Регулярное превышение эксплуатационных нагрузок	8
		Нерегулярное превышение нормативных эксплуатационных нагрузок	4
		Эксплуатационные нагрузки ниже или соответствуют нормативным значениям	1
Наличие дополнительных контрольно-пропускных пунктов для прохода персонала внутри предприятия	F_{3-6}	Наличие дополнительных КПП внутри предприятия	5
		Дополнительные КПП внутри предприятия отсутствуют	1
Группа критериев "Непреднамеренный человеческий фактор"			
Неудовлетворительное состояние здоровья сотрудника	F_{4-1}	Хроническое заболевание в стадии обострения; острые заболевания, мешающие рабочим процессам; признаки алкогольного и наркотического опьянения; внезапные приступы (эпилепсия, сердечные приступы)	8
		Наличие хронических заболеваний, которые в условиях стресса могут повлиять на работоспособность (например, гипертония, диабет); прием лекарств, имеющих побочные эффекты (сонливость, замедленная реакция)	4
		Сотрудник регулярно проходит медосмотры, противопоказаний к работе не выявлено	1
Низкий уровень образования, квалификации сотрудника	F_{4-2}	Сотрудник не имеет образования, не проходит дополнительное обучение и аттестацию в области промышленной безопасности	10

		Сотрудник имеет соответствующее образование, но не проходит дополнительное обучение и аттестацию в области промышленной безопасности	4
		Сотрудник имеет соответствующее сфере деятельности образование, регулярно получает дополнительное образование и проходит аттестацию в области промышленной безопасности согласно законодательству	1
Стаж работы сотрудника	$F_{4.3}$	менее 1 года	7
		От 1-го года до 5 лет	4
		От 5 до 10 лет	3
		Свыше 10 лет	1
Психоэмоциональное состояние сотрудника (на основании результатов опросов, трекеров настроения)	$F_{4.4}$	Высокий уровень стресса, тревожности, апатии или выгорания; зафиксированные случаи неадекватного поведения (агрессия, плач, истерика) на рабочем месте	7
		Умеренный уровень стресса, фиксируемый у значительной части коллектива; периодические жалобы на усталость	3
		Положительные либо нейтральные показатели настроения и уровня стресса	1
Группа критериев "Преднамеренный человеческий фактор"			
Нарушение правил пожарной и промышленной безопасности, охраны труда	$F_{5.1}$	Систематические, умышленные и осознанные нарушения правил пожарной и промышленной безопасности, охраны труда; грубые нарушения, создающие прямую угрозу возникновения аварии	10
		Несистематические нарушения, связанные с невнимательностью, желанием сэкономить время или недостаточной обученностью; наличие нескольких негрубых нарушений, выявленных у одного сотрудника или на одном участке	6
		Единичные, случайные и быстроустранимые нарушения; нарушения фиксируются редко и сразу же исправляются	2
Диверсии	$F_{5.2}$	Высокая частота террористических актов по региону нахождения предприятия (согласно статистике), имеются подтвержденные случаи попыток совершения терактов вблизи предприятий региона	9
		Частота террористических актов в регионе низкая, фиксируются нерегулярные единичные эпизоды	3
		Низкий уровень террористической угрозы по региону нахождения предприятия (согласно статистике)	1
Противоправные действия (конфликты, беспорядки, кражи)	$F_{5.3}$	Зафиксированные на предприятии акты вандализма, саботажа или хищения материальных ценностей в крупных размерах; открытые протестные акции, угрозы; физические конфликты между работниками	10
		Единичные случаи краж, хищений в небольших размерах; словесные конфликты между работниками	5
		Конфликты носят единичный характер и быстро урегулируются; случаи противоправных действий отсутствуют или являются крайне редкими	1

Приложение Г

Обоснование определения средней балльной оценки критериев

Критерий	Название критерия	Группа	Средний балл	Обоснование
F_{1-1}	Высокие уровни воды (половодье, дождевой паводок, затор, зажор)	Природные	7	Баллы выставлены на основе анализа данных Росгидромета и МЧС России о повторяемости и интенсивности гидрометеорологических явлений за последние 10 лет. Наиболее частыми явлениями определены сильный ветер и высокие уровни воды, наименее — крупный град.
F_{1-2}	Комплекс неблагоприятных явлений		6	
F_{1-5}	Очень сильный ветер, ураганный ветер		4	
F_{1-6}	Лесные (и другие природные) пожары		6	
F_{1-4}	Сильный ливень		5	
F_{1-3}	Крупный град		7	
F_{2-1}	Полное или частичное отключение электроэнергии	Технологические (основные процессы)	9	Металлургия золота является энергоемким производством и не может работать на генераторах долгое время. По данным АО «СО ЕЭС», ежегодно происходит на электростанциях около 16 000 аварий, что может привести к долгому простою предприятия.
F_{2-2}	Разрушение футеровки индукционной печи		9	Согласно отчетам Ростехнадзора, в 2018–2023 гг. такие инциденты стали причиной 8% тяжелых аварий в металлургии с человеческими жертвами и большим материальным ущербом.
F_{2-3}	Выброс расплава		9	По данным Ростехнадзора за 2012–2021, выбросы расплавов и из металлургических печей были одним из основных травмирующих факторов смертельных несчастных случаев на предприятиях металлургии — 17%.
F_{2-4}	Нарушения в работе грузоподъемных механизмов, технических устройств, падение грузов		9	Падение грузов, неисправность кранов — причина 40% несчастных случаев на ОПО. По статистике Ростехнадзора (2021), в металлургии такие инциденты составили 25% травм.
F_{2-5}	Нарушение гидроизоляции в системе водоохлаждения		9	Ассоциация по технике безопасности в металлургии (VDSI, Германия) в своих бюллетенях приводит информацию о том, что до 40% всех взрывов в сталеплавильных цехах связаны с утечками в системах охлаждения с тяжелыми последствиями.
F_{2-6}	Наличие газообразного хлора		5	Согласно статистике, ежегодно происходит около 80–100 аварий на химически опасных объектах с выбросом АХОВ в окружающую среду (около 12% аварий составляет утечка хлора).

F_{2-7}	Наличие химически агрессивной среды		5	Согласно отчетам Роспотребнадзора, наличие кислот влияет как на здоровье сотрудников, так и на увеличение скорости коррозии оборудования и конструкций, вентиляции, что повышает риск отказов систем.
F_{2-8}	Дефекты электродов		5	В исследовании, опубликованное в "Light Metals" (сборник докладов конференции TMS), указывается, что до 30% технологических нарушений, ведущих к пожарам в на участке электролиза, начинаются с проблем с контактами или дефектами электродов
F_{2-9}	Превышение температуры электролита		6	Согласно данным учебных пособий по металлургии благородных металлов, превышением температуры электролита увеличивает скорость коррозии оборудования, что составляет около 12 % инцидентов.
F_{2-10}	Дефекты изложниц		8	Анализ несчастных случаев показывает, что значительная доля (около 10%) выброса расплава связана именно с внезапным разрушением изложниц, ковшей или желобов из-за невыявленных дефектов и термической усталости.
F_{2-11}	Влага в изложницах		8	Согласно международной статистике, регулярно фиксируются инциденты по контакту расплава с водой, что ведет к взрыву и выбросу расплава.
F_{2-12}	Нарушение условий хранения соляной и азотной кислот	Технологические (вспомогательные процессы)	7	Согласно статистике Ростехнадзора, количество инцидентов, связанных с утечкой кислот, ежегодно насчитывается несколько десятков на металлургических предприятиях.
F_{2-13}	Нарушение условий хранения газообразного хлора		7	Особую опасность представляет хранение хлора в баллонах на складах предприятия в непригодных условиях, которые могут повлечь взрыв или возгорание.
F_{2-14}	Высокая температура при сушке золота		8	Нарушения в режиме термообработки золота нередко приводят к возгоранию фильтровальных тканей либо самого материала по данным международных конференций по цветной металлургии.
F_{2-15}	Засорение рукавного фильтра		5	По статистике МЧС, частые возгорания в системах газоочистки возникают по причине накопления пыли в фильтре/скруббере, что вызывает
F_{2-16}	Перегрев фильтра		5	
F_{2-17}	Забивание форсунок скруббера		5	

F_{2-18}	Перегрев скруббера		5	дальний перегрев и возгорание.
F_{3-1}	Ошибки проектирования	Конструктивные	6	Более 70% действующих предприятий, осуществляющих аффинаж золота, построены в начале 20 века, что подразумевает естественное старение и износ. Это обусловлено длительным сроком эксплуатации, воздействием агрессивных сред и климатических факторов. По результатам экспертиз, около 30% дефектов ОПО были связаны с ошибками проектирования.
F_{3-2}	Использование некачественных и дефектных строительных материалов		6	По данным строительных экспертиз (НИИСФ РААСН), до 25% материалов на старых объектах не соответствуют нормам. На металлургических заводах это повышает риск коррозии и разрушения.
F_{3-3}	Трещины (технологические, усадочные, волосные, продольные, вертикальные, сквозные)		6	По обследованиям ЦНИИПромзданий, трещины различных типов в несущих конструкциях выявлены на 40% исследуемых производственных объектов, что необходимо учитывать при оценке риска.
F_{3-4}	Коррозия металлических конструкций		6	Коррозия металлоконструкций в агрессивных средах (кислоты, щелочи) сокращает срок службы на 30–40%. На основании научных публикаций, на металлургических заводах до 20% аварий связаны с коррозией.
F_{3-5}	Превышение проектных нагрузок		6	По статистике Ростехнадзора, в 2022 г. 12% аварий на металлургических предприятиях были связаны непосредственно с превышением нагрузок.
F_{3-6}	Наличие дополнительных КПП для прохода персонала внутри предприятия		3	Наличие дополнительных КПП внутри предприятия может затруднить эвакуацию персонала в случае аварии.
F_{4-1}	Неудовлетворительное состояние здоровья сотрудника, в т. ч. усталость	Непреднамеренный человеческий фактор	7	По результатам исследований Института труда РАНХиГС, около 40% работников тяжелой промышленности испытывают хроническое утомление и снижение работоспособности. Это связано с длительными сменами, высокой физической нагрузкой и неблагоприятными условиями труда.
F_{4-2}	Низкий уровень образования, квалификации сотрудника		6	По данным Ростехнадзора, около 60% аварий происходит по причине недостаточного уровня знаний персонала.
F_{4-3}	Недостаточный стаж работы сотрудника		6	По данным ГМПР, Ростехнадзора наиболее уязвимой группой (более 60% несчастных случаев) являются сотрудники с опытом

				работы в среднем от 5 до 10 лет.
F_{4-4}	Эмоциональное состояние сотрудника (ссоры, переживания, депрессия, болезни близких и другое)		4	Нахождение человека в состоянии стресса приводит к нарушению им правил техники безопасности, пренебрежению средствами индивидуальной защиты, забыванию инструкций, что может стать причиной возникновения аварий. По данным «Коммерсанта», более 65% респондентов оценили свой уровень стресса на 4 балла.
F_{5-1}	Нарушение правил пожарной и промышленной безопасности, охраны труда	Преднамеренный человеческий фактор	8	По данным Ростехнадзора и научных публикаций, около 60% всех аварий происходит по причине нарушений правил промышленной безопасности и охраны труда, которые приводят к росту числа аварий, несчастных случаев и травматизма.
F_{5-2}	Диверсии		1	По данным МВД, за последние 5 лет на металлургических объектах не зафиксировано террористических актов, при этом уровень тер. опасности по стране в целом растет с каждым годом.
F_{5-3}	Противоправные действия (конфликты, беспорядки)		1	По данным МВД, в 2020–2023 гг. зафиксировано 5 случаев краж на металлургических предприятиях. Также были зафиксированы отдельные случаи противоправных действий.

Приложение Д

Акт внедрения



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «МОСКОВСКИЙ ЗАВОД ПО ОБРАБОТКЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПЛАВОВ»

117246, Москва, ул. Обручева, д.31, стр.6, пом.
209

ИНН 7728423036 / КПП 772801001
Код по ОКПО 28086581, Код по ОКВЭД 32.12.1
ПАО «Банк ПСБ»
р/с 4050281090000000264
к/с 30101810400000000555
БИК 044525555
«27» января 2026г. №27/01-26Р

Генеральный директор +7 (495) 334-99-08
E-mail: info@mzss.ru

Система менеджмента качества
ГОСТ Р ИСО 9001-2015
Сертификат соответствия
№ МС.4К.005-2021

АКТ ВНЕДРЕНИЯ результатов диссертационного исследования Чавкиной Людмилы Юрьевны на тему «Разработка метода оценки и управления риском аварий при производстве золота»

Согласно Федеральному закону от 21.07.1997 г. №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» предприятия, эксплуатирующие опасные производственные объекты (к которым относят большую часть металлургических предприятий), разрабатывают системы управления промышленной безопасностью, одним из обязательных элементов которых является идентификация опасностей и оценка риска аварий. Несмотря на большое количество существующих методов по оценке риска аварий, в настоящее время не существует метода, учитывающего специфику производства золота.

Результаты диссертационной работы Чавкиной Л.Ю. были использованы при оценке риска и разработке мероприятий по повышению уровня безопасности, так как содержат:

1. Классификацию критериев (опасностей), отражающих специфику производства золота.
2. Методику, предполагающую идентификацию и оценку опасностей на всех этапах технологической цепочки, что дает возможность определять наиболее уязвимые участки производства.
3. Алгоритм оценки опасностей при производстве золота, который позволяет установить уровень опасности цеха/предприятия и определить меры по обеспечению безопасности предприятия в зависимости от него.

Считаем, что разработанный метод оценки риска аварий для процесса производства золота является актуальным.

Зам. генерального директора по развитию
Кандидат технических наук

Рогов С. И.

