

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

На правах рукописи

КОВАЛЬСКИЙ ФЕДОР СЕРГЕЕВИЧ



**МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ РИСКА ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНЫХ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С УЧЁТОМ ВЕРОЯТНОСТНО-
ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ КОНТУРОВ
ЗАЩИТ**

2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Мосолов Александр Сергеевич

Москва - 2026

Оглавление

Введение	5
ГЛАВА 1. Теоретические основы обеспечения пожарной и промышленной безопасности опасных производственных объектов на основе анализа риска	13
1.1 Введение в проблему пожарной и промышленной безопасности производственных объектов	13
1.2 Основные понятия управления рисками	16
1.3 Методы идентификации опасностей	18
1.3.1 HAZOP-анализ	18
1.3.2 FMEA и HAZID	20
1.3.3 Обоснование выбора метода HAZOP для определения опасных последствий	21
1.4 Вероятностные методы оценки рисков	22
1.4.1 Деревья отказов (FTA)	22
1.5 Экономические аспекты систем безопасности	26
1.5.1 Затраты на безопасность	26
1.5.2 Экономическая эффективность	27
1.6 Контуры защиты (ПАЗ) и их роль в снижении рисков	30
1.7 Обзор существующих методов оптимизации систем защиты	33
1.8 Введение индекса вероятностно-экономического показателя безопасности контуров защиты	35
1.9 Выводы	38
ГЛАВА 2. Определение минимальных условий для безопасной эксплуатации участка установки гидроочистки дизельных топлив	40
2.1 Описание объекта исследования	40
2.2 Этап 1: HAZOP-анализ для выявления опасностей	44
2.3 Этап 2: Определение допустимых критериев рисков	45
2.3.1 Индивидуальный риск гибели персонала	45
2.3.2 Экологический риск	47
2.3.3 Экономический риск	47

2.4	Этап 3: Построение деревьев отказов для критических сценариев	49
2.5	Этап 4: Оптимизация затрат на безопасность	49
2.6	Выводы	72
ГЛАВА 3. Определение минимальных условий для безопасной эксплуатации компрессора природного газа		74
3.1	Описание объекта исследования.....	74
3.2	Этап 1: HAZOP-анализ для выявления опасностей	79
3.3	Этап 2: Определение допустимых критериев рисков.....	81
3.3.1	Индивидуальный риск гибели персонала	81
3.3.2	Экологический риск	82
3.3.3	Экономический риск	83
3.4	Этап 3: Построение деревьев отказов для критических сценариев	84
3.5	Этап 4: Оптимизация затрат на безопасность	85
3.6	Выводы	89
ГЛАВА 4. Ограничения метода		91
Заключение		94
Список сокращений и условных обозначений		98
Список использованной литературы.....		100
Приложение 1 Технологическая схема участка установки ГДТ		116
Приложение 2 Рабочие таблицы HAZOP		122
Узел 1.1 Реакторный блок		122
Часть 1.1.1 Приготовление газосырьевой смеси.....		122
Часть 1.1.2 Подача ВСГ		131
Часть 1.1.3 Реакторный блок (гидроочистка).....		143
Часть 1.1.4 Подача природного газа в печь П-1.....		159
Узел 1.1 Компримирование природного газа.....		162
Часть 1.1.1 Поток для технологических целей		162
Часть 1.1.2 Маслосистема компрессора природного газа.....		165
Приложение 3 Деревья отказов		176
Деревья отказов для участка установки очистки дизельного топлива.....		176

Деревья отказов для компрессора природного газа	194
Приложение 4 Перечень вероятностей исходных событий.....	222
Приложение 5 Сертификат РизЭкс-3	224
Приложение 6 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021663111	225
Приложение 7 Акт внедрения.....	226

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что безопасность на производстве остаётся заявленным приоритетом, но на практике она реализуется через формальные, жёстко заданные нормы, которые не дают гибкости для принятия обоснованных решений. В таких условиях важно развивать подходы, основанные на количественной оценке рисков, чтобы можно было выбирать меры защиты, исходя из их влияния на безопасность и затраты. Это особенно актуально для предприятий, которые обязаны соблюдать требования пожарной и промышленной безопасности, но при этом оставаться конкурентоспособными.

Важнейшей государственной задачей в условиях беспрецедентных западных санкций в отношении Российской Федерации и продолжающейся специальной военной операции является обеспечение взрывопожаробезопасности на нефтегазовых и топливно-энергетических объектах, которые являются основой экономики государства.

Вследствие вышеприведенных обстоятельств необходимость в разработке новых методов и подходов, направленных на снижение пожарных рисков, является актуальной.

В работе представлен метод, применение которого позволяет формировать оптимальную конфигурацию комплексной системы обеспечения безопасности с заданным уровнем защиты при минимальном уровне затрат.

Основу принимаемых решений составляют такие исходные данные, как уровень риска, стоимость защитных мер и величина их эффективности, что позволяет обосновать утверждение об обеспечении требуемого уровня безопасности соответствующей (конкретной) конфигурацией системы защиты.

Предложенный подход снижает затраты и позволяет синхронизировать процесс усовершенствования мер безопасности предприятия с ускорением его промышленного роста и обеспечивает устойчивое развитие.

Степень разработанности. Вопросы управления рисками пожарной и промышленной безопасности являются предметом повышенного внимания в

Российской Федерации и находятся в фокусе международного научного сообщества. В 1960-х годах компанией ICI (Imperial Chemical Industries) были заложены основы методологии HAZOP (hazard and operability analysis – анализ опасности и работоспособности), компанией Bell Labs для Военно-воздушных сил США в 1962 году был разработан метод «деревьев отказов» (FTA – failure tree analysis), позволивший количественно оценивать вероятность аварийных сценариев, что стало поворотным моментом в переходе от качественных к вероятностным моделям безопасности.

Как показывает практика, даже широко используемые методы, в частности, основанные на принципе ALARP (As Low As Reasonably Practicable - «настолько низко, насколько это разумно возможно»), до настоящего времени сталкиваются с проблемой субъективной интерпретации понятия «разумной достижимости» мер защиты. Международные стандарты IEC 61508 и IEC 61511 хотя и задают чёткие требования к SIL (Safety Integrity Level – уровни полноты безопасности), не предлагают механизмов интеграции риск-ориентированного подхода с экономическими расчётами, что проявляется при проектировании сложных систем.

В России развитие методов управления рисками развивалось параллельно с формированием нормативной базы. Применение принципа ALARP рассматривали в своих работах Гордиенко Д.М. и Телюк А.С. К числу наиболее опасных «отказов» относят так называемые «каскадные» отказы», риски возникновения которых на объектах с взаимосвязанными технологическими процессами зачастую игнорируются отечественными методиками, что приводит к недооценке таких рисков.

В действующей законодательной базе (Федеральный закон №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», Федеральный закон №123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности») рассматривается данная проблема в целом, однако не решается задача достижения баланса между жёсткими требованиями и экономической целесообразностью в виду следующих причин:

- отсутствуют общепринятые методики количественной оценки

обоснованности затрат в рамках ALARP, что приводит к конфликтам между специалистами производственно-технологических процессов и экономистами при выборе систем защиты;

- сохраняется разрыв между нормативной базой и реальными производственными условиями: требования к SIL зачастую выполняются без учёта специфики объекта по формальному принципу.

Вышеперечисленные проблемы позволили сформулировать цель и задачи исследования.

Цель исследования: обеспечение пожарной, промышленной, также экономической безопасности опасных производственных объектов (ОПО) с учетом рентабельности затрат на меры защиты, соответствующих ожидаемому уровню риска на нефтехимических и химических производственных объектах.

Основные задачи. Для достижения поставленной в диссертации цели решаются следующие задачи:

1. Проанализировать нормативно-методическую базу и существующие подходы к риск-ориентированному подходу обеспечения пожарной и промышленной безопасности ОПО, определить проблемные аспекты применения вероятностного анализа риска при выборе мер защиты.

2. Сформировать методические подходы к заданию критериев приемлемости риска и принятию решений при выборе мер защиты для ОПО с учётом принципа ALARP и ограничений практического применения.

3. Разработать подход к количественной оценке риска на ОПО, обеспечивающий сопоставление вариантов мер защиты в условиях ограниченности исходных данных и ресурсов анализа.

4. Разработать подход к технико-экономическому обоснованию мер защиты, позволяющий учитывать соотношение затрат и эффективности снижения риска в условиях заданных ограничений.

5. Обосновать порядок применения и сочетания методов идентификации опасностей и последующей количественной оценки риска на различных стадиях жизненного цикла ОПО.

6. Разработать подход к выбору оптимальных наборов мер защиты для ОПО при заданных ограничениях по уровням риска и ресурсам и провести апробацию предложенных решений на примерах ОПО.

Научная новизна:

Разработан риск-ориентированный подход к выбору систем защиты для опасных производственных объектов, основанный на совместном учёте величины риска, стоимости защитных мер и их эффективности, что позволяет обосновывать оптимальную конфигурацию системы обеспечения безопасности при заданных ограничениях.

Предложен индекс экономической эффективности и разработан порядок поэтапного выбора мер защиты, позволяющий количественно сопоставлять варианты решений по критерию снижения риска при заданных затратах и последовательно формировать состав системы защиты.

Разработан подход к заданию критериев приемлемости риска и обоснован порядок сочетания метода анализа опасности и работоспособности (HAZOP) и метода деревьев отказов для количественной оценки риска и выбора мер защиты в условиях ограниченности исходных данных и ресурсов анализа.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии подходов к выбору мер защиты для опасных производственных объектов на основе количественного сопоставления уровня риска, эффективности защитных мер и затрат на их реализацию.

В работе доработаны представления о возможности совместного рассмотрения требований безопасности и экономической целесообразности в рамках единой процедуры принятия решений, что позволяет формализовать выбор конфигурации системы обеспечения безопасности при заданных ограничениях по риску.

Предложенный индекс экономической эффективности позволяет представить результат применения меры защиты в виде количественно сопоставимого показателя и тем самым перейти от качественного сравнения вариантов к их формализованному ранжированию по критерию снижения риска

при заданных затратах. Использование данного показателя расширяет возможности риск-ориентированного подхода при обосновании состава мер защиты.

Теоретически значимым является также разработанный порядок поэтапного выбора мер защиты, основанный на последовательном пересчёте уровня риска и индекса экономической эффективности после каждого принятого решения. Такой порядок развивает подходы к выбору мер защиты в условиях ограниченности ресурсов и создаёт основу для дальнейшего развития методов количественного обоснования систем обеспечения безопасности опасных производственных объектов.

Практическая значимость работы.

Предложенный подход дает возможность предприятиям выбирать наиболее эффективные конфигурации систем защиты, соответствующие допустимому уровню риска, без дополнительных инвестиций. Это особенно актуально в условиях жёсткого нормативного регулирования, когда производственные организации вынуждены находить баланс между безопасностью и экономией.

Метод, апробированный на нефтегазовых и топливно-энергетических объектах, доказал свою эффективность: затраты в реализованных проектах на системы защиты в течение периода разработки, внедрения и опытной эксплуатации были снижены при сохранении приемлемого уровня безопасности, что характеризует его универсальность в части применения как проектными организациями, так и службами промышленной безопасности.

Разработанный метод может быть встроен в существующие на ОПО процедуры риск-анализа без нарушения существующих регламентов, что существенно упрощает его внедрение и предоставляет механизмы рационального управления защитными мерами. Представленные в работе примеры применения методики к реальным производственным условиям подчеркивают ее практическую значимость.

Методы исследования:

В процессе работы были использованы как общенаучные, так и специальные

методы исследования. Теоретическая часть базировалась на анализе и обобщении научной литературы, отечественной и зарубежной нормативной базы, а также сравнительном исследовании подходов к обеспечению промышленной и пожарной безопасности. Для выявления закономерностей и построения концептуальной модели применялись методы анализа, синтеза и моделирования.

При идентификации опасностей и анализе возможных сценариев аварий особое место занял HAZOP-анализ. Для построения причинно-следственных зависимостей и количественной оценки вероятности критических событий использовался метод анализа деревьев отказов, что позволило учесть как технические отказы, так и ошибки персонала.

В работе принимались следующие определения риска:

- ожидаемый уровень риска/ожидаемый риск – рассчитанная величина опасного последствия;
- приемлемый риск – значение риска, менее или равное допустимому риску;
- допустимый риск – величина риска, с которой общество и предприятие готовы мириться, так как его полное устранение невозможно или экономически нецелесообразно.

Для оценки допустимого риска применялись вероятностно-статистические методы с учётом доверительных интервалов и принцип ALARP, позволяющий соотнести технические возможности снижения риска с экономической целесообразностью. Использование доверительных интервалов позволяло учитывать неопределённость оценок риска и задавать область обоснованных значений допустимого риска. Экономическая составляющая исследования включала анализ эффективности защитных мероприятий на основе разработанного индекса экономической эффективности, интегрирующего результаты количественного анализа риска с затратами на системы защиты.

Практическая часть работы опиралась на данные эксплуатации конкретных объектов – установки гидроочистки дизельного топлива и компрессора природного газа. Для автоматизации расчётов и визуализации результатов применялся

программный комплекс RizEx-3. Дополнительной эмпирической базой послужили статистические сведения МЧС России, Росстата и международных агентств.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработан риск-ориентированный подход к выбору мер защиты для опасных производственных объектов, предусматривающий задание критериев приемлемости риска на основе фонового риска и применение принципа ALARP, что обеспечивает сопоставимость результатов количественной оценки риска при принятии решений.

2. Предложен индекс экономической эффективности, позволяющий количественно сопоставлять меры защиты по соотношению снижения риска и затрат на их реализацию и использовать данный показатель при обосновании выбора защитных мер в условиях ограниченных ресурсов.

3. Обоснован порядок совместного применения HAZOP и метода деревьев отказов для количественной оценки риска и выбора мер защиты на опасных производственных объектах, что обеспечивает переход от выявления опасных ситуаций к количественному обоснованию принимаемых решений.

4. Разработан метод выбора конфигурации системы защиты, обеспечивающей требуемое снижение риска при обоснованных затратах, реализованный в виде поэтапной процедуры с последовательным пересчётом риска и индекса экономической эффективности после каждого принятого решения.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов подтверждается использованием методов математической статистики и анализа опасности и работоспособности. Апробация результатов проведенного исследования выполнена при подготовке НИР в компании ООО «ЦИТР «Ризикон», по результатам которой подготовлен акт о внедрении.

Основные положения диссертации получили полное отражение в 6 публикациях в рецензируемых изданиях, из них 3 статьи в журнале, индексируемом в международных базах данных Scopus, Chemical Abstracts и GeoRef.

Результаты диссертации представлены на международных и всероссийских

конференциях, в том числе на: IV, V и VI Международных научно-практических конференция молодых ученых по проблемам техносферной безопасности (г. Москва, 2020, 2022, 2024 гг.); Российском нефтегазовом саммите «Химия. Транспортировка. Хранение» (г. Москва, 2021 г.); 2-м Международном форуме «Минеральные удобрения PRO» (г. Сочи, 2024 г.); Российском нефтегазовом техническом конгрессе (г. Москва, 2024 г.); Всероссийской научно-технической конференции «Успехи в специальной химии и химической технологии» (г. Москва, 2025 г.).

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность Грановскому Эдуарду Алексеевичу, генеральному директору ООО «ЦИТР «Ризикон», за ценные советы, внимательное наставничество и неизменную поддержку на всех этапах работы над диссертацией. Его глубокие знания и практический опыт в области промышленной безопасности, а также внимательное отношение к деталям позволили сформировать научную основу исследования и придать работе завершённость и практическую значимость.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РИСКА

1.1 Введение в проблему пожарной и промышленной безопасности производственных объектов

Развитие промышленности и энергетики в XX-XXI веках сопровождалось ростом масштабов и сложности технологических систем, что неизбежно повлекло за собой увеличение потенциальных рисков аварий, сопровождаемых взрывами и пожарами. Опасные производственные объекты - химико-технологические предприятия, нефтегазовые комплексы, шахты и энергетические станции - остаются источником угрозы жизни и здоровью людей, окружающей среде и экономике регионов. Крупные катастрофы, такие как Чернобыльская авария 1986 года [1], взрыв на химическом заводе в Бхопале 1984 года [2], катастрофа на платформе Piper Alpha 1988 года [3], пожар на нефтебазе Buncefield 2005 года [4], а в России - авария на Саяно-Шушенской ГЭС 2009 года [5], убедительно показали необходимость системного пересмотра подходов к проектированию и эксплуатации объектов, связанных с высоким уровнем промышленной и пожарной опасности.

На ранних этапах регулирование строилось на жёстко предписывающих нормах. Классическим примером стал первый кодекс по сосудам и котлам ASME (американское общество инженеров-механиков) BPVC (кодекс по котлам и сосудам под давлением), изданный в 1914/1915 гг. В Европе развивались немецкие DIN (немецкий институт по стандартизации), а в СССР с середины XX века вводились обязательные «Правила безопасности» для сосудов под давлением [6], угольных шахт и других объектов. В сфере пожарной безопасности аналогичную роль играли первые документы Национальной ассоциации противопожарной защиты США (NFPA), включая стандарт на спринклерные системы (NFPA 13, 1896 г.) и последующий NFPA 30 по хранению горючих жидкостей, а в 1927 г. появился предшественник Life Safety Code (NFPA 101) (действующие редакции [7-9]). Эти

документы устанавливали строгие технические предписания, не предполагая гибкости и анализа конкретных сценариев.

С середины XX века на фоне научно-технической революции появились системные методы анализа опасностей. Были разработаны FMEA (Failure Mode and Effects Analysis - анализ видов и последствий отказов)/FMESA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis - анализ видов, последствий и критичности отказов) [10], FTA [11], а в химической промышленности закрепился метод HAZOP [12]. В 1975 г. в США был опубликован отчёт WASH-1400 [13], заложивший основы вероятностного анализа безопасности (PRA). Эти методы позволили перейти от «чек-листов» к количественной оценке вероятности и последствий аварий. В дальнейшем это направление было институционализировано: в США в 1992 г. был принят стандарт OSHA (управление по охране труда США) по управлению промышленной безопасностью [14], а в европейском союзе - директивы Seveso, последняя из которых действует сегодня [15].

Параллельно формировались подходы к функциональной безопасности: базовый стандарт IEC 61508 [16] и прикладной для процессной промышленности IEC 61511 [17], закрепившие понятие уровней SIL и жизненного цикла безопасности. Для управления сквозными рисками в организациях в 2009 г. был принят международный стандарт ISO 31000, актуальная редакция которого вышла в 2018 г. [18]. В сфере пожарной безопасности с конца 1990-х годов начал развиваться инженерный подход: в NFPA 101 была введена опция performance-based compliance (соответствие требованиям, основанным на производительности), а методологическую базу сформировали руководства SFPE (общество инженеров противопожарной защиты) [19] и международный стандарт ISO 23932 [20]. Эти документы открыли возможность проектировать объекты с использованием расчётов сценариев пожара и эвакуации вместо формального соблюдения всех предписаний.

В России промышленная и пожарная безопасность развивались с опорой на советское наследие. В советский период действовали многочисленные предписывающие «Правила безопасности», утверждаемые Госгортехнадзором,

например, для сосудов под давлением [6]. Переломным моментом стало принятие Федерального закона № 116-ФЗ «О промышленной безопасности ОПО», введшего институт экспертизы промышленной безопасности, декларации и классификацию ОПО [21]. В сфере пожарной безопасности в 1994 г. был принят Федеральный закон № 69-ФЗ [22], а затем утверждены первые единые «Правила пожарной безопасности» ППБ-01-93 [23]. В 2008 г. был принят технический регламент № 123-ФЗ «О требованиях пожарной безопасности» [24], который закрепил два возможных пути соблюдения требований: выполнение норматива через перечень стандартов или обоснование эквивалентной безопасности расчётами риска. Нормативные значения риска установлены на уровне индивидуального риска для производственного персонала $\leq 10^{-6}$ в год и для населения вне площадки $\leq 10^{-8}$ в год.

В развитие 123-ФЗ постановлением Правительства № 272 от 31.03.2009 был утверждён порядок расчётов пожарного риска [25]. В 2009 г. МЧС утвердило методику расчёта пожарного риска (приказ № 404) [26], обновлённую в 2024 г. приказом № 533 [27]. Короткий обзор последовательности расчета пожарного риска представлен в [28]. Современные рамочные требования закреплены также в Правилах противопожарного режима [29]. Для анализа пожарной опасности технологических процессов используется ГОСТ Р 12.3.047-2012 [30].

Научное сообщество активно развивало идеи, которые легли в основу нормативного сдвига. Концепция *inherently safer design* (изначально безопасное проектирование), сформулированная Клетцем [31], показала, что наиболее эффективно снижать риск путём устранения или минимизации опасных факторов ещё на этапе проектирования, что позже получило отражение в работах Хендершота [32]. Современные исследования в области HAZOP и анализа рисков [33] развивают и уточняют методы применения этих инструментов. Критический анализ имплементации директив Seveso в научной литературе [34] указывает на сложности гармонизации регуляторных требований с практикой, что актуально и для России.

Таким образом, историческая траектория развития требований безопасности как в мире, так и в России демонстрирует переход от жестко предписывающих

норм к риск-ориентированным и инженерным подходам. Для промышленной безопасности это проявляется в обязательности анализа риска, внедрении функциональной безопасности и организационного риск-менеджмента. Для пожарной безопасности - в возможности подтверждать требуемый уровень защиты через расчёт риска и моделирование сценариев пожара. В современных российских условиях эти подходы интегрируются через такие документы, как 116-ФЗ, 69-ФЗ и 123-ФЗ, постановления № 272 и № 1479, методики МЧС, а также через ГОСТ Р и СП, что позволяет проектировщикам обосновывать безопасность ОПО в терминах допустимого риска. Всё это создаёт научную и практическую основу для разработки и совершенствования методических принципов риск-ориентированного проектирования опасных производственных объектов.

1.2 Основные понятия управления рисками

Риск определяется как сочетание вероятности наступления события и тяжести его последствий. Такой подход закреплён в национальном стандарте [35]. Аналогичные представления можно найти и в научной литературе, например в статье [36, 37], где риск описывается как основа для выбора рациональных мер защиты. Как обсуждается в работе [38], методы анализа рисков играют важную роль на разных этапах жизненного цикла объектов.

Современное понимание безопасности выходит за рамки исключительно социальной задачи и включает экономическую составляющую. Затраты на снижение риска могут быть значительными, и уже в советский период в нормативных документах допускалось учитывать техническую и экономическую целесообразность. Это прямо отражено в [39] и в [40], где предусматривалась возможность отступлений от требований, если их выполнение оказывалось чрезмерно затратным или технически неосуществимым. Для оптимизации таких решений в современных инженерных задачах используются различные подходы [41, 42].

В постсоветский период вопрос рациональности вложений в безопасность стал ещё более актуальным. В работе [43] прямо указывается на необходимость

сопоставления стоимости защитных мероприятий и достигнутого эффекта. Сходные акценты делаются в статье [44], а также в публикации [45], где подчёркивается важность достоверных данных при расчётах.

Ключевым инструментом оценки является сопоставление рисков от промышленного объекта с так называемыми фоновыми рисками - теми опасностями, которым человек подвергается в повседневной жизни. Этот подход активно обсуждается в российской литературе. Так, в статье [46] обосновывается использование фоновых рисков как ориентира для установления допустимых уровней. Подобный анализ представлен и в работе [47], где автор приводит статистические данные по аварийной опасности в отраслях. Если промышленный риск снижен до уровня порядка 10^{-4} - 10^{-6} в год, сопоставимого с бытовыми угрозами, дальнейшее его уменьшение становится экономически неоправданным, так как общий уровень безопасности человека практически не меняется.

При этом важно учитывать, что сами оценки риска подвержены значительным неопределённостям. В статье [48] показано, что разброс в исходных данных может достигать одного-двух порядков. Схожую проблему рассматривает [49], где предлагается использовать вероятностные методы для проверки достоверности расчётов. В совокупности эти исследования подтверждают: фиксированное значение допустимого риска некорректно, разумнее задавать диапазон значений и сопровождать расчёты анализом чувствительности.

Наиболее широко в мировой и отечественной практике применяется принцип ALARP. В российских публикациях этот подход анализируется, например, в статье [50], а также в исследовании [51]. Согласно этому принципу, риски делятся на три категории: недопустимые, которые необходимо снижать безусловно; зона ALARP, где снижение должно продолжаться до разумных пределов с учётом затрат; и пренебрежимо малые риски, при которых дополнительные меры не требуются. Принцип ALARP является широко используемым в управлении рисками на опасных объектах, однако его применение и интерпретация остаются спорными, особенно в части определения «разумности» и «практичности» в конкретных ситуациях [52]. Связь принципа ALARP с анализом затрат-выгод (Cost-Benefit

Analysis - CBA) и ограничения «чисто денежной» интерпретации при обосновании мер безопасности обсуждаются в [53].

Характерный пример применения принципа ALARP можно привести на основе анализа систем аварийного сброса газов. В ряде случаев сброс через свечу рассеивания оказывается не менее безопасным и при этом более экономичным решением, чем дорогостоящее факельное сжигание. Подобные выводы содержатся в [54], где приводится сравнение вариантов на основе расчётов концентраций, тепловых воздействий и вероятностей аварий. Этот пример показывает, что слепое следование нормативным предписаниям не всегда оправдано, и именно количественный анализ рисков и затрат позволяет находить баланс между безопасностью и экономикой.

1.3 Методы идентификации опасностей

1.3.1 HAZOP-анализ

HAZOP-анализ [55, 56] давно стал неотъемлемой частью работы специалистов по промышленной и пожарной безопасности на опасных производственных объектах. Проведение анализа опасности и работоспособности предписывается ФНП № 533 [57]. Сам метод позволяет снизить вероятность аварий или даже исключить саму возможность возникновения конкретных отклонений от норм технологического режима.

В российской практике чаще всего сталкиваются с необходимостью проведения HAZOP при проектировании новых опасных производственных объектов.

Можно утверждать, что наиболее важным этапом является не сам анализ, а правильная подготовка к нему. Необходимо заблаговременно проработать технологические схемы, подготовить исходные данные по всем параметрам процессов. ГОСТ Р 27.012-2019 требует участия мультидисциплинарной команды, но на практике способность собрать по-настоящему работоспособную группу является настоящим искусством.

Международные стандарты, в частности ИЕС 61882:2016, делают большой

акцент на использование ключевых слов (guide words). Для выбранных характеристик - параметров технологического процесса, которые могут изменяться во времени (Давление, уровень, температура и т.д.), применяют управляющие слова (Больше, меньше, нет и др.), тем самым, формируя отклонения. Обзор развития метода HAZOP и современных направлений его модификации (в т.ч. квантификация, человеческий фактор, автоматизация) представлен в [58].

Особого внимания заслуживает раздел по защитным мерам. Практика показывает, что при выявлении опасного последствия, проектировщики и представители эксплуатации прикладывают все силы, чтобы предусмотреть хотя бы один слой защиты от опасного последствия. В то же время, часто приходится искать баланс между требованиями безопасности и экономической целесообразностью.

К сожалению, HAZOP не лишен недостатков. Как показывает практика, метод действительно требует значительных временных затрат - анализ даже средней по сложности установки может занять от 1 недели интенсивной работы. При этом результаты сильно зависят от квалификации участников. Сходная критика традиционного HAZOP и подход к его усилению за счёт динамического моделирования обсуждаются в работе [59].

Для сложных случаев ГОСТ [55] предлагает комбинировать HAZOP с другими методами. Например, при количественном анализе рисков использовать связку HAZOP + FTA, как рекомендует стандарт IEC 61508 [60] по функциональной безопасности. Это позволяет не только выявить потенциальные опасности, но и количественно оценить вероятность критических событий.

Несмотря на сложности в применении, HAZOP остается системным подходом к анализу опасностей. В Европе его применение регламентировано Директивой Seveso III [15], у нас – целым рядом нормативных документов. Как показывает практика, грамотно проведенный HAZOP позволяет выявить до 90% потенциальных проблем на ранних стадиях проектирования.

1.3.2 FMEA и HAZID

FMEA [61] представляет собой систематизированный подход к идентификации и минимизации рисков, связанных с потенциальными отказами компонентов систем. В отличие от HAZOP, ориентированного на отклонения технологических параметров, FMEA фокусируется на структурных и функциональных дефектах оборудования, что регламентируется ГОСТ Р 51901.12-2007 «Менеджмент риска. Анализ видов и последствий отказов». Метод находит применение в различных отраслях: к примеру, в машиностроении (руководство AIAG FMEA Manual [62]). Примером развития комбинированного подхода является метод VLHAZID [63], в котором объединяются функционально-ориентированный и компонентно-ориентированный анализ (HAZOP/FMEA) для получения структурированных результатов, пригодных для повторного применения.

Нормативная база FMEA варьируется в зависимости от отрасли. В России ключевым документом остается ГОСТ Р 51901.2002 [35], устанавливающий общие принципы менеджмента рисков, однако отраслевые стандарты вносят дополнительные требования к оценке тяжести последствий.

Одним из преимуществ FMEA является его адаптивность. Метод может быть модифицирован для анализа как механических, так и программных систем. Например, в IT-секторе FMEA используется для оценки рисков сбоев в алгоритмах обработки данных, а в энергетике - для прогнозирования отказов трансформаторов под нагрузкой. Однако метод имеет ограничения: он слабо учитывает каскадные отказы, что требует дополнения такими инструментами, как анализ дерева событий (ETA – event tree analysis).

Ресурсоемкость FMEA остается его основным недостатком. Для сложных систем, таких как авиационные двигатели или химические реакторы, анализ может занимать сотни человеко-часов, что часто приводит к необходимости упрощенных подходов. Например, в малых и средних предприятиях применяются сокращенные методики, позволяющие сократить объем работ без потери качества. Современные

модификации FMEA, основанные на взвешивании компонент и уточнении расчёта приоритета риска, представлены, например, в [64].

HAZID (Hazard Identification – определение опасности) [65] представляет собой систематизированный подход к первичной идентификации опасностей на ранних стадиях проектирования промышленных объектов. В отличие от HAZOP и FMEA, ориентированных на детальный анализ, метод фокусируется на формировании общей картины рисков. Его ключевая задача - определение приоритетных направлений для последующего углубленного изучения с помощью специализированных методов.

Основное преимущество метода – высокая скорость реализации. HAZID позволяет за короткие сроки определить ключевые угрозы. Однако, метод не заменяет детальные исследования, а служит основой для планирования дальнейшего анализа. Ограничения HAZID включают зависимость от квалификации участников и недостаточную глубину проработки редких или каскадных сценариев, таких, как кибератаки или цепные экологические последствия.

Критика метода связана с потенциальным созданием иллюзии полноты анализа. Исследования указывают на риски пропуска специфических угроз в высокотехнологичных отраслях (атомная энергетика, киберфизические системы), где требуются узкоспециализированные знания. Для таких случаев рекомендуется комбинация HAZID с профильными методами.

1.3.3 Обоснование выбора метода HAZOP для определения опасных последствий

HAZOP-анализ был выбран в качестве базового метода благодаря его системности и универсальности. Несмотря на известные ограничения метода - зависимость от квалификации модератора и фрагментарность рассмотрения причинно-следственных связей между строками рабочих таблиц - его структурный подход позволяет выявить критические точки отказа, которые становятся основой для количественной оценки рисков.

Ключевым аргументом в пользу HAZOP стала возможность интеграции с методами FTA [66] и ETA [67]. Например, при анализе сценария «рост температуры в реакторе» HAZOP идентифицирует первичные отклонения: увеличение расхода компонента из-за отказа датчика или заклинивания регулирующего клапана. Эти данные становятся входными для FTA, где строится логическая модель, связывающая причины (отказ датчика, неисправность клапана) с последствиями (превышение давления из-за температурного роста). Одновременно ETA позволяет оценить развитие аварии при отказе контуров ПАЗ (противоаварийная автоматическая защита), как это требуется в стандарте IEC 61508 для систем функциональной безопасности.

Программный комплекс RizEx-3 (Приложение 5), используемый для автоматизации, решает проблему фрагментарности HAZOP. Он синхронизирует данные из рабочих таблиц, автоматически генерируя связи между строками «Расход больше» и «Температура больше», что исключает ручной поиск взаимозависимостей. Алгоритмы RizEx-3, соответствующие требованиям ГОСТ Р 12.3.047-2012 [30] по пожарной безопасности, преобразуют качественные выводы HAZOP в количественные модели FTA/ETA, рассчитывая вероятность аварии и определяя лимитирующие элементы защиты.

Таким образом, выбор HAZOP обусловлен его совместимостью с нормативной базой и возможностью преодоления ограничений через интеграцию с количественными методами. Использование RizEx-3 обеспечивает соответствие принципам [55], где подчеркивается необходимость автоматизации анализа рисков для сложных промышленных объектов. Это позволяет не только идентифицировать угрозы, но и оптимизировать затраты на безопасность, фокусируясь на критически важных контурах защиты.

1.4 Вероятностные методы оценки рисков

1.4.1 Деревья отказов (FTA)

Метод анализа деревьев отказов – это инструмент, который в руках опытного инженера превращается в «детективную карту» причинно-следственных связей.

Его выбирают, когда нужно не только выявить, но и количественно оценить, как комбинация мелких неполадок может привести к катастрофе - будь то разрыв трубопровода на НПЗ или отказ системы управления самолетом. В России метод закреплен ГОСТ Р 27.302-2009 [66].

Начинается работа с ФТА всегда с четкого определения «верхнего события». Например, при проектировании газопровода таким событием может быть утечка метана с последующим взрывом. Применяя логические операторы И и ИЛИ, ИСКЛ. ИЛИ и др., выстраивается логическая структура развития аварии.

Дерево отказов, построенное по требованиям ГОСТ Р 27.302-2009, превращает абстрактные риски в понятную схему, которую можно обсудить даже с неспециалистами. В нефтегазовой отрасли такие диаграммы становятся основой для технико-экономического обоснования: когда менеджмент видит, что установка дополнительного клапана снижает вероятность аварии на 40%, бюджет на безопасность утверждают быстрее. Но за кажущейся простотой скрывается кропотливая работа: сбор статистики отказов, верификация данных.

Ограничения метода хорошо известны. Сложные системы превращают дерево в «лабиринт», где легко пропустить ключевую связь. Здесь на помощь приходит специализированное программное обеспечение (ПО) – например, RiskSpectrum или отечественные аналоги, соответствующие ГОСТ Р 27.302-2009. Однако даже программы не спасают от «мусора на входе»: устаревшая статистика по отказам датчиков или неучтенный человеческий фактор искажают результаты.

Таким образом, ФТА остается неотъемлемой частью инженерной культуры безопасности, требует глубокого понимания логики системы, аккуратности в данных и времени, и корректное применение метода анализа деревьев отказов позволит избежать санитарных и безвозвратных потерь и сохранить экологию окружающей среды.

Графические символы, используемые в «деревьях отказов»



- знак логической связи между событиями «**И**». Выходное событие происходит, если все входные события происходят (случаются) одновременно.



- знак логической связи между событиями «**ИЛИ**». Выходное событие происходит, если происходит (случается) любое (хотя бы одно) из входных событий.

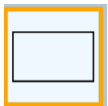


- знак логической связи между событиями «**Исключающее ИЛИ**». Выходное событие произойдет при реализации только одного из нескольких объединяемых событий.

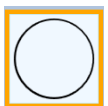


- знак «**Запрет**». Выходное событие происходит только в том случае, если одновременно с другими входными событиями происходит условное событие.

События делятся на четыре вида:



- «**Составное событие**» представляет собой результат реализации одного или нескольких событий (простых или составных), объединенных логическими связями «**И**», «**ИЛИ**», «**Запрет**», «**Исключающее ИЛИ**».



- «**Простое событие**» представляет собой источник воздействия на систему и характеризуется вероятностью появления (реализации).

Знак «или» используется, когда выходное событие происходит, если случается одно или несколько из входных событий.

Для событий, связанных логическим знаком «или», вероятность выходного события (P_E) определяется по формуле:

$$P_E = 1 - \prod_i^n (1 - P_i) \quad (1)$$

где: n - количество входных событий;

P_i - вероятность i -ого входного события.

Знак “исключающее или” используется, если выходное событие происходит,

если случается только одно из входных событий.

Для событий, связанных логическим знаком «исключающее или», вероятность реализации выходного события (P_E) определяется по формуле:

$$P_E = \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

Знак «и» используется, когда выходное событие происходит, если все входные события возникают одновременно.

Знак «запрет» используется в том случае, если наличие входного события вызывает появление выходного тогда, когда происходит условное событие.

Для событий, связанных логическим знаком «и» или «запрет», вероятность реализации выходного события (P_E) определяется по формуле:

$$P_E = \prod_i P_i \quad (3)$$

Иногда необходимо найти вероятность реализации неполного числа событий N , а только нескольких событий M . Вероятность такого события вычисляется по следующей формуле:

$$P_E = 1 - \sum_{i=1}^n \binom{M}{N} P_i (1 - P_i)^{N-1} \quad (4)$$

где:

C_N^M - число сочетаний из N элементов по M .

Расчет вероятности возникновения аварии выполняется поэтапно - снизу вверх, по каждой группе вышеназванных событий.

При построении «деревьев отказов» рассматриваются:

- возможные отклонения параметров (нарушения режимов) процесса от предусмотренных технологическим регламентом значений и причины этих отклонений;
- механические поломки и отказы элементов оборудования, трубопроводов и арматуры;

- отказы систем КИПиА (контрольно-измерительные приборы и аппаратура), автоматических систем управления (АСУ) и ПАЗ;
- ошибки персонала.

1.5 Экономические аспекты систем безопасности

1.5.1 Затраты на безопасность

Формирование бюджета на системы безопасности - от противоаварийной защиты до газового анализа - требует учета как первоначальных капитальных вложений (CAPEX), так и долгосрочных эксплуатационных расходов (OPEX) [68]. Капитальные затраты включают проектирование и монтаж оборудования. Например, установка резервированных контроллеров SIL-3 или взрывозащищенных датчиков, сертифицированных по АTEX/IECEX, может потребовать до 40% бюджета проекта. При этом монтаж в условиях действующего производства усложняется необходимостью согласований с Ростехнадзором, что увеличивает стоимость на 15-20% из-за остановки оборудования и привлечения специализированных подрядчиков.

Эксплуатационные расходы становятся постоянным бременем для предприятий. Энергопотребление систем, таких, как насосы пожаротушения или аварийная вентиляция, добавляет до 7% в ежегодные OPEX. Обучение персонала - отдельная статья: тренинги по работе с системами ПАЗ, психологическая подготовка и сертификация, требуют, как минимум 200 часов в год на сотрудника. При этом страховые компании, снижая тарифы на 10-15% для сертифицированных объектов, не компенсируют затраты на ежегодные аудиты.

Скрытые издержки часто остаются вне бюджета. Ложные срабатывания ПАЗ из-за запыления оптических сенсоров или программных ошибок приводят к простоям, стоимость которых может превышать 1 млн руб./час (округленный расчет) для нефтеперерабатывающих комплексов из-за высокой взаимозависимости установок между собой. Деграция компонентов - например, потеря эластичности уплотнений клапанов или разрушение кабелей от вибрации - увеличивает риск аварий, требуя превентивного обслуживания. Такие работы, хотя

и снижают вероятность инцидентов, добавляют до 25% к OPEX.

Взаимосвязь CAPEX и OPEX носит нелинейный характер. Инвестиции в качественное оборудование, такое, как датчики с самодиагностикой, сокращают эксплуатационные расходы за счет снижения частоты проверок. Например, дублирующий контур ПАЗ, уменьшает риск отказа на 90%, но только при условии регулярной замены фильтров и калибровки. Экономия на CAPEX, напротив, приводит к росту OPEX: дешевые датчики без резервирования требуют вдвое больше обслуживания, а отсутствие резервных линий связи увеличивает простой при поломках.

Нормативы напрямую влияют на структуру затрат. Для крупного НПЗ необходима установка 500+ датчиков вместо 300 при менее строгих требованиях. Международные стандарты предписывают резервирование критических компонентов, увеличивая CAPEX на 30%.

Таким образом, управление затратами на безопасность - это стратегический выбор между «заплатить сейчас» и «заплатить позже». Нормативы задают базовый уровень, но их превышение часто экономически оправдано. Например, датчики с машинным обучением, хотя и увеличивают CAPEX на 20%, сокращают OPEX за счет прогнозирования отказов. В итоге каждый вложенный рубль становится не только страховкой от убытков, но и вкладом в устойчивость бизнеса - как того требует растущее внимание регуляторов и общества к промышленной безопасности.

1.5.2 Экономическая эффективность

Показатели ROI (окупаемость инвестиций) и анализ затрат и выгод трансформируют абстрактные риски в финансовые метрики, становясь ключевыми инструментами для обоснования решений в области пожарной и промышленной безопасности. В отличие от традиционных подходов, которые фокусируются на минимизации затрат или соблюдении минимальных нормативов, современные методы учитывают динамику рисков, вероятностные сценарии и нематериальные факторы, такие, как репутационные потери или доступ к «зелёному»

финансированию. Например, установка системы аварийного отключения реактора требует CAPEX в 10 млн рублей, но предотвращает потенциальный ущерб в 500 млн рублей от расплавления активной зоны. Однако реальная эффективность таких инвестиций зависит от вероятности аварии (например, 0.1% в год) и срока эксплуатации системы (20 лет), что требует применения риск-ориентированного CBA, интегрированного с международными стандартами. Методология риск-ориентированного CBA, соответствующая строгим международным стандартам, подробно изложена в руководствах для высокорисковых отраслей, таких как атомная энергетика [69].

Классические методы управления затратами, такие, как приоритет дешёвых решений или строгое следование устаревшим нормативам, демонстрируют свою несостоятельность в условиях сложных технологических систем. Дешёвые датчики загазованности, формально соответствующие нормативно-технической документации, снижают CAPEX на 30%, но увеличивают OPEX за счёт частой калибровки и ложных срабатываний, которые приводят к простоям стоимостью до 1 млн руб./час. Исследования подтверждают, что упрощённый подход, фокусирующийся только на формальном соответствии или минимальной цене, часто ведёт к увеличению жизненного цикла затрат и требует комплексного технико-экономического обоснования для выбора оптимального решения [70]. Упрощённый CBA, игнорирующий вероятностные модели, может отвергнуть систему безопасности с CAPEX 5 млн рублей, если прямой ущерб от аварии оценивается в 10 млн рублей при годовой вероятности 5%. Однако за 10 лет эксплуатации ожидаемые потери (5 млн рублей) сравниваются с первоначальными вложениями, что делает инвестиции оправданными. Более того, традиционные методы не учитывают косвенные риски: авария на химическом заводе, вызвавшая загрязнение водоёма, влечёт не только штрафы, но и падение капитализации, потерю клиентов и сложности с привлечением кредитов. ROI, фокусирующийся на прямых убытках, не способен количественно оценить такие сценарии, что ограничивает его применимость в современных условиях.

Современные подходы к анализу ROI и CBA преодолевают эти ограничения

за счёт интеграции с системами управления рисками и технологиями больших данных. Риск-ориентированный СВА, основанный на методе Монте-Карло, генерирует тысячи сценариев, учитывающих не только технические факторы (коррозию труб, износ оборудования), но и человеческие ошибки, климатические аномалии и киберугрозы [71]. Практическое применение метода Монте-Карло для построения сценариев и количественной оценки затратного риска в целях обеспечения безопасности приведено в [72] Для нефтехранилища это позволяет рассчитать распределение потенциальных убытков с указанием доверительных интервалов - например, «95% вероятности, что ущерб не превысит 200 млн рублей» - что соответствует требованиям ИЕС 61511 к функциональной безопасности.

Динамическая адаптация методов СВА к технологическим инновациям становится критически важной в эпоху Industry 4.0. IoT-датчики с машинным обучением, установленные на нефтеперерабатывающем заводе, не только обнаруживают утечки, но и прогнозируют износ оборудования, сокращая OPEX на 20-30% за счёт превентивного ремонта. Такие решения требуют значительных CAPEX на внедрение ИИ-платформ, но окупаются через снижение страховых премий и предотвращение аварий. Экономическая оценка технологий предиктивного обслуживания, включающая расчёт ROI через моделирование системной динамики, подтверждает высокую окупаемость подобных решений несмотря на крупные первоначальные инвестиции [73]. Например, на платформе «X» внедрение предиктивной аналитики сократило OPEX на 12 млн руб./год, а предотвращённый ущерб оценивается в 200 млн рублей за три года, что демонстрирует ROI в 140%.

Сценарное моделирование расширяет границы анализа, рассматривая не только «наихудший случай», но и комбинации событий: кибератаки, природные катастрофы, цепочки человеческих ошибок. Для АЭС это включает не только аварию с потерей охлаждения, но и отказ резервных генераторов при цунами, как это произошло на «Фукусиме». Инструменты вроде САФТА (Computer-Aided Fault Tree Analysis) интегрируют деревья отказов [74] с экономическими моделями, позволяя оценить вклад каждого сценария в общий риск. Например, установка

волнорезов и мобильных дизель-генераторов увеличила CAPEX на 30%, но снизила вероятность катастрофы с $1E-04$ до $1E-06$ в год, что значительно улучшило долгосрочный ROI.

Переход к современным методам – это не просто технический «апгрейд», а смена парадигмы, где безопасность становится активом, генерирующим ценность. Технологии больших данных собирают информацию с датчиков, ремонтных журналов и даже метеорологических API, создавая предиктивные модели для управления рисками. Для ветряных электростанций анализ вибраций лопастей позволяет планировать замену компонентов до критического износа, сокращая простой на 40%. Внедрение таких систем, хотя и требует CAPEX на ИИ-инфраструктуру, снижает OPEX за счёт оптимизации ресурсов, что критически важно для привлечения инвестиций.

Таким образом, ROI и SWA превращаются из формальных отчётов в стратегические инструменты, связывающие технические решения с финансовой устойчивостью компании. Нормативы, такие как IEC 61508, задают базовые требования, но их превышение за счёт инноваций часто экономически оправдано. Каждый рубль, вложенный в безопасность, – это не только страховка от многомиллионных убытков, но и вклад в репутацию, доступ к новым рынкам и выполнение глобальных стандартов устойчивого развития. В условиях ужесточения регуляторных требований и роста конкуренции такой подход становится не выбором, а необходимостью.

1.6 Контур защиты (ПАЗ) и их роль в снижении рисков

Контур противоаварийной автоматической защиты – это сложные инженерные системы, сочетающие аппаратные и программные компоненты, которые автоматически предотвращают аварии переводя технологический процесс в безопасное состояние. Их проектирование требует не только технической грамотности, но и глубокого понимания принципов функциональной безопасности. Например, установка датчиков давления или аварийных клапанов сама по себе не гарантирует надежность - ключевым становится соответствие

системы требуемому уровню полноты безопасности, определяемому на основе анализа рисков.

Помимо требований к контурам ПАЗ по надежности, также предъявляются требования по времени срабатывания, которое определяется на основе времени безопасности технологического процесса. Время безопасности технологического процесса – это период времени между отказом процесса или основной системы управления процессом, потенциально способным привести к опасному событию, и самим опасным событием, если функция безопасности не выполняется [17]. Особенности определения времени безопасности рассмотрены в работах [75, 76]. Некорректное определение времени безопасности процесса может привести к ошибке при определении времени срабатывания систем защит, что, в свою очередь, отразится на нарушении предупреждения аварий.

В международной практике, регламентированной стандартом IEC 61511, уровень SIL назначается через количественные расчеты, учитывающие вероятности отказов компонентов, архитектуру системы и степень резервирования. Однако распространенное заблуждение – считать, что тройное резервирование автоматически обеспечивает SIL 3. На деле, если используются низко надежные элементы (например, механические реле с высокой вероятностью отказа), даже тройное дублирование может не достичь целевого уровня. Это подтверждается примерами из нефтехимической отрасли, где для достижения SIL 3 иногда достаточно двух высоконадежных датчиков с разными принципами действия, тогда как три стандартных сенсора остаются в рамках SIL 2.

В России подходы к назначению SIL [77] часто упрощены. Уровень безопасности нередко определяется через полуколичественные матрицы рисков или табличные методы. Это ускоряет процесс, но повышает вероятность ошибок. Например, контур ПАЗ, спроектированный по российским нормативам, может оказаться избыточным для второстепенных рисков или недостаточным для критических сценариев. Одна из ключевых проблем - игнорирование «лимитирующих веток» деревьев отказов. Если контур защищает не основную причину аварии, его влияние на общий риск становится незначительным, даже при

высоком SIL.

Современные тенденции в развитии контуров противоаварийной защиты характеризуются новыми вызовами. Цифровые двойники и адаптивные системы с машинным обучением, хотя и повышают точность прогнозирования, пока не описаны в стандартах. Это создает правовые пробелы: например, алгоритм ИИ, предотвративший аварию на химическом заводе в Германии, не может быть сертифицирован по IEC 61511, так как стандарт не учитывает «обучение» систем безопасности. В России подобные проекты и вовсе сталкиваются с нормативным вакуумом, вынуждая разработчиков опираться на устаревшие документы.

Методы многокритериальной оптимизации, использующие генетические алгоритмы, могут стать важным инструментом для оптимизации политик тестирования в системах безопасности, особенно в условиях, где требуется балансировка между безопасностью, надежностью и затратами. Эти подходы подробно обсуждаются в статье [78], где применяются генетические алгоритмы для многокритериальных задач оптимизации систем безопасности.

Критически важным остается этап анализа рисков. Методы вроде HAZOP и FTA, предписанные IEC 61511, должны не только выявлять угрозы, но и определять, какие из них требуют аппаратной защиты, а какие - организационных мер. Например, на атомной электростанции внедрение контура SIL 3 для управления стержнями поглощения сопровождалось детальным расчетом вероятностей через метод Монте-Карло. Это позволило избежать избыточного резервирования и снизить CAPEX на 15%, сохранив требуемый уровень безопасности.

Однако даже совершенные контуры ПАЗ не могут компенсировать человеческий фактор. По данным Ростехнадзора, 40% аварий на российских предприятиях связаны с ошибками персонала - отключением систем «для упрощения работы» или несвоевременным обслуживанием. Это подчеркивает необходимость интеграции технических решений с культурой безопасности, что редко учитывается в стандартах.

Таким образом, проектирование контуров ПАЗ – это не только выбор

датчиков и клапанов, но и инструмент для соблюдения баланса между нормативами, рисками и реальными условиями эксплуатации. Международные стандарты задают высокую планку, но их слепое копирование без учета местной специфики так же опасно, как и упрощенные методы. Будущее за гибридными подходами, где требования ИЕС 61511 сочетаются с адаптивностью, а «умные» системы дополняют, но не заменяют человеческий опыт.

1.7 Обзор существующих методов оптимизации систем защиты

В инженерной практике сложился целый арсенал методов оптимизации систем защиты, каждый из которых решает специфические задачи, но одновременно несет в себе характерные ограничения. Подходы, основанные на анализе рисков, давно стали классикой в нефтегазовой и химической отраслях. Risk-based inspection (RBI, инспекция на основе риска), позволяет планировать частоту и глубину проверок оборудования в зависимости от его критичности. На российских нефтеперерабатывающих заводах, RBI успешно применяется для трубопроводов высокого давления, где сокращает количество «остановов» на 20-30% без потери безопасности. Однако этот метод зачастую дает статичную картину, не учитывающую постепенную деградацию материалов или изменения технологических режимов.

Принцип ALARP [79 - 81], закрепленный в британских HSE Regulations [82] и адаптированный в российских нормативных документах, предлагает снижать риски до уровня, при котором дальнейшее уменьшение становится экономически неоправданным. На первый взгляд, это разумный баланс между безопасностью и затратами, но на практике он порождает субъективные оценки. Например, при модернизации установки каталитического крекинга на одном из предприятий инженеры и экономисты три месяца спорили, что считать "разумно достижимым" уровнем затрат - 5 или 7 млн рублей. ALARP не дает четких математических критериев.

Многокритериальные методы анализа пытаются преодолеть эту неопределенность. Метод анализа иерархий (МАИ) и метод смещенного идеала

(МСИ), описанные в [83 – 85], позволяют сравнивать десятки параметров - от вероятности отказа до сложности монтажа. Генетические алгоритмы [78, 86], используемые в западных проектах, автоматизируют поиск компромиссов, но их «черный ящик» часто отпугивает российских специалистов, привыкших к прозрачным методикам.

Серьезной проблемой остается разрыв между техническими и экономическими оценками. Большинство методов рассматривают системы защиты как статичные объекты, не учитывая, что их эффективность меняется со временем. Например, датчик загазованности может соответствовать SIL 2 при установке, но через пять лет эксплуатации в агрессивной среде его показатели ухудшатся. Российские нормативы требуют регулярной поверки, но не предлагают моделей для прогнозирования экономики на весь жизненный цикл.

Особенно заметен дисбаланс между качественными методами анализа рисков и количественными экономическими моделями. HAZOP-анализ, выявляет сотни потенциальных отклонений, но не отвечает на вопрос, какие из них действительно стоит блокировать дорогостоящими контурами ПАЗ. На одном из предприятий из 70 выявленных сценариев только 12 имели достаточный риск для обоснования инвестиций в автоматическую защиту - остальные были переведены в категорию организационных мер.

Перспективным направлением представляется интеграция методов. В пилотном проекте сочетание RBI для оборудования, МАИ и МСИ для выбора систем и генетических алгоритмов для оптимизации бюджета дало экономию в 15% CAPEX при сохранении требуемого уровня безопасности. Однако такие комплексные подходы пока не описаны в нормативных документах - ни в российских ГОСТ, ни в международных ИЕС. Разработчикам приходится идти на компромисс между эффективностью и соответствием стандартам, что особенно сложно в регулируемых отраслях.

Опыт последних лет показывает, что будущее - за адаптивными системами, которые не просто соответствуют фиксированным критериям, а динамически перестраиваются под изменения рисков и экономических условий [87]. Но пока

нормативная база, как в России, так и за рубежом, не успевает за технологиями, оставляя инженерам поле для творчества - и рисков.

1.8 Введение индекса вероятностно-экономического показателя безопасности контуров защиты

Несмотря на то, что методы HAZOP, FTA и ALARP давно и успешно применяются для анализа рисков и обоснования мер безопасности, в них отсутствует четкий механизм, позволяющий напрямую связать технические решения с их экономической эффективностью. Да, HAZOP помогает выявить опасные отклонения, FTA количественно оценивает вероятность аварий, а ALARP задает философию «разумной достаточности» затрат. Но как на практике сравнить два контура защиты с разной стоимостью и разным уровнем снижения риска? Как выбрать оптимальный вариант, когда бюджет ограничен, а регуляторы требуют соответствия нормативам?

В отечественных исследованиях предпринимались попытки формализовать выбор конфигурации систем противоаварийной защиты с учётом принципа ALARP и стоимостных показателей. В частности, в диссертационной работе А.С. Телюка [88] задача синтеза ПАЗ рассматривалась как задача выбора варианта исполнения системы, минимизирующего совокупность затрат на обеспечение безопасности и потерь от аварийных и иных внештатных ситуаций. Вместе с тем данный подход ориентирован преимущественно на синтез ПАЗ как элемента АСУ ТП и не решает в явном виде задачу сопоставления отдельных мер защиты по вкладу в снижение риска при заданных затратах.

В зависимости от рассматриваемого аспекта тяжесть последствий может выражаться в денежной форме (руб./год), в вероятности гибели человека (1/год) или в экологическом ущербе (например, кг выброса/год). При этом конкретная размерность риска не играет принципиальной роли, поскольку в дальнейшем анализ проводится через отношение рисков до и после введения защитных систем, и размерность сокращается.

Изначально система может быть представлена как совокупность связанных

элементов, где причины инициируют отклонения, отклонения порождают последствия, а те могут вести к новым отклонениям. Цепочка завершается конечными событиями, характеризующими опасные последствия для человека, экономики или окружающей среды. Для прерывания этих связей используются защитные системы, каждая из которых имеет свою вероятность отказа. Таким образом, вероятность конечного события зависит от структуры дерева отказов и набора действующих защитных барьеров.

Для каждого конечного последствия c вводится величина S_c , характеризующая тяжесть (ущерб), и вероятность наступления P_c . Тогда общий риск системы можно записать как:

$$R(x) = \sum_c P_c(x) S_c \quad (5)$$

где x обозначает набор включённых систем защиты. В отсутствие барьеров имеем исходный риск $R_{\text{нач}} = R(0)$. При добавлении контура защиты вероятность наступления событий пересчитывается с учётом отказов барьеров. Если барьер i характеризуется вероятностью отказа $PF D_i$ и действует на набор событий β_c , то вероятность наступления последствия c принимает вид:

$$P_c(x) = P_c \prod_{i \in \beta_c \cap x} PFD_i \quad (6)$$

Соответственно, риск после установки барьера равен $R_{\text{кон}} = R(x \cup \{i\})$

Каждая система защиты имеет стоимость G_i , и задача анализа состоит в том, чтобы сопоставить снижение риска и требуемые затраты. Для этого вводится индекс экономической эффективности, который показывает «цену» снижения риска [89]. В базовой форме он определяется как

$$\text{ИЭЭ} = \frac{R_{\text{нач.}}}{R_{\text{кон.}}} \cdot \frac{1}{G}, \quad (7)$$

что можно интерпретировать как величину, показывающую, во сколько раз уменьшается риск на единицу вложенных средств.

На практике полезно рассматривать и маргинальный вариант этого индекса, показывающий эффект от включения отдельного барьера к уже выбранному набору:

$$\Delta R_i(x) = R(x) - R(x \cup \{i\}), \text{ ИЭЭ}_i(x) = \frac{\Delta R_i(x)}{G_i} \quad (8)$$

Таким образом, ИЭЭ отражает, во сколько раз снижается риск (независимо от его природы: рубль, вероятность гибели или экологический ущерб) на каждый вложенный рубль.

Алгоритм практического применения выглядит как последовательный выбор барьеров по убыванию значения ИЭЭ. На первом шаге рассматриваются все доступные варианты защиты, выбирается тот, для которого показатель максимален. После его установки пересчитывается риск системы и, соответственно, значения ИЭЭ для оставшихся барьеров. Далее процедура повторяется до тех пор, пока суммарный риск не снизится до заданного приемлемого уровня $R_{\text{доп}}$. Таким образом удаётся выявить комбинацию защитных мер, при которой достигается баланс между стоимостью и снижением риска.

Формально задача может быть записана как оптимизационная:

$$\min_x \sum_i G_i x_i \text{ при условии } R(x) \leq R_{\text{доп}}, x_i \in \{0, 1\}, \quad (9)$$

где x_i - бинарная переменная, равная единице, если барьер включён. Однако решение этой задачи в точном виде затруднено из-за нелинейной зависимости риска от набора барьеров. Жадный алгоритм на основе ИЭЭ даёт приближённое решение, которое в инженерной практике оказывается достаточно эффективным и прозрачным.

Именно такое использование индекса экономической эффективности позволяет системно сравнивать различные барьеры - как дорогостоящие и высоконадёжные, так и относительно дешёвые, но с ограниченной эффективностью. Итерационный отбор на основе ИЭЭ обеспечивает достижение приемлемого уровня риска в разных его проявлениях - экономическом, социальном или экологическом - при минимальных суммарных затратах на системы защиты.

Возникает резонный вопрос: почему такой индекс не появился раньше? Ведь методы анализа рисков существуют десятилетиями. Ответ кроется в традиционном подходе к безопасности, где технические и экономические решения часто принимаются отдельно. Инженеры рассчитывают вероятности, экономисты

считают ROI. При этом нормативные документы скорее диктуют требования для обеспечения безопасности, чем предъявляют требования к уровню безопасности. Особенно это заметно в российской практике, где нормативы [57, 90, 91] требуют выполнения определенных мер, но не дают инструментов для их оптимизации. В результате предприятия вынуждены слепо выполнять Правила, устанавливая избыточные системы, или, наоборот, экономить на критически важных контурах, не понимая реального соотношения «цена-качество» безопасности.

ИЭЭ решает эту проблему, предлагая понятный критерий для сравнения альтернатив.

1.9 Выводы

Историческое развитие промышленной и пожарной безопасности в мире и в России демонстрирует переход от жёстко предписывающих норм к риск-ориентированным и инженерным подходам. Современные стандарты (IEC 61508/61511, ISO 31000, Seveso III, 123-ФЗ и др.) закрепляют обязательность анализа риска и предоставляют возможность обосновывать безопасность не только через формальное соответствие нормам, но и через расчёты допустимого риска.

Риск в инженерной практике определяется как произведение вероятности наступления события и тяжести его последствий. Тяжесть может выражаться в экономических потерях, вероятности гибели человека или экологическом ущербе. Такой универсальный подход позволяет сопоставлять различные сценарии аварий и последствия, не ограничиваясь одной размерностью.

Методы идентификации опасностей (HAZOP, FMEA, HAZID) и количественные методы анализа (FTA, ETA) образуют основу современной системы риск-анализа. Их интеграция позволяет выявлять причины и сценарии аварий, количественно оценивать вероятность реализации конечных событий и определять лимитирующие факторы безопасности.

В инженерной и нормативной практике активно используется принцип ALARP, ориентирующий на снижение риска до уровня, при котором дальнейшее уменьшение становится экономически неоправданным. Однако отсутствие чётких

количественных критериев в рамках ALARP требует привлечения дополнительных инструментов для сопоставления эффективности различных мер защиты.

Существенную роль в управлении безопасностью играют экономические аспекты. Системы защиты формируют не только капитальные, но и эксплуатационные затраты. Поэтому возникает необходимость сопоставления эффекта снижения риска с затратами на реализацию защитных мер. Классические показатели ROI и CBA частично решают эту задачу, но не учитывают специфику вероятностного характера риска.

Для устранения разрыва между техническим и экономическим анализом введён индекс экономической эффективности, который позволяет напрямую соотнести снижение риска с величиной затрат на защитные системы. Его использование даёт возможность проводить ранжирование барьеров и выстраивать их внедрение в последовательности, обеспечивающей минимальные суммарные затраты при достижении заданного уровня безопасности.

Введение ИЭЭ формализует задачу оптимизации систем защиты как задачу минимизации стоимости при ограничении на допустимый риск. Хотя точное решение носит нелинейный характер, применение жадного алгоритма на основе ИЭЭ является практически удобным и прозрачным методом для выбора оптимальной комбинации защитных мер.

Таким образом, современная теоретическая база промышленной и пожарной безопасности опирается на интеграцию риск-ориентированных методов анализа, экономических оценок и нормативных требований. Индекс экономической эффективности представляет собой новый инструмент, позволяющий объединить технические и экономические аспекты в единый критерий, что создаёт основу для рационального проектирования и эксплуатации опасных производственных объектов.

ГЛАВА 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ УЧАСТКА УСТАНОВКИ ГИДРООЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

2.1 Описание объекта исследования

Объект:

Рассматривается участок установки дизельных топлив, а именно реакторный блок, состоящий из:

- Насосов подачи сырья;
- Компрессора подачи водородсодержащего газа (ВСГ);
- Печи подогрева газосырьевой смеси;
- Реакторного блока.

Описание технологического процесса:

Сырьё поступает на прием насоса Н-1, (Н-2). От насосов сырьё поступает в теплообменник Т-1, где нагревается теплом отходящего с установки стабильного дизельного топлива.

Далее сырьё поступает в тройник смешения сырья с циркулирующим водородсодержащим газом, поступающим от компрессора ПК-1(ПК-2) поз. См-1.

В тройнике смешения происходит смешение сырья и водородсодержащего газа. Циркулирующий ВСГ поступает на прием компрессора ПК-1 (ПК-2) из сепаратора С-1. Для поддержания заданных параметров процесса в приёмный сепаратор газовых компрессоров ПК-1, ПК-2 С-1 подаётся свежий ВСГ, кроме циркуляционного ВСГ.

Газосырьевая смесь после тройника смешения последовательно поступает в межтрубное пространство теплообменника поз. Т-2, где нагревается за счёт тепла газопродуктовой смеси, выходящей из реактора поз. Р-2. После теплообменника подогретая газосырьевая смесь поступает в печь П-1, где нагревается до температуры 300...400 °С.

Газосырьевая смесь из печи П-1 поступает в последовательно работающие реакторы Р-1, Р-2 и проходит через слой катализатора сверху вниз.

Газопродуктовая смесь после реактора Р-2 последовательно поступает в трубное пространство теплообменника Т-2, где отдаёт часть тепла газосырьевой смеси. После теплообменника Т-2 газопродуктовая смесь поступает в аппарат воздушного охлаждения АВО-1, затем в теплообменник поз. Т-3, а затем в сепаратор С-2, где происходит разделение газопродуктовой смеси на жидкую и газовую фазу. Жидкая фаза из сепаратора С-2 последовательно поступает в блок стабилизации. Газовая фаза водородсодержащий газ с верха сепаратора С-2 направляется на очистку от сероводорода.

Блок-схема участка установки гидроочистки дизельного топлива приведена на рисунке 1. Полная технологическая схема представлена на рисунках 19 - 24 в Приложении 1.

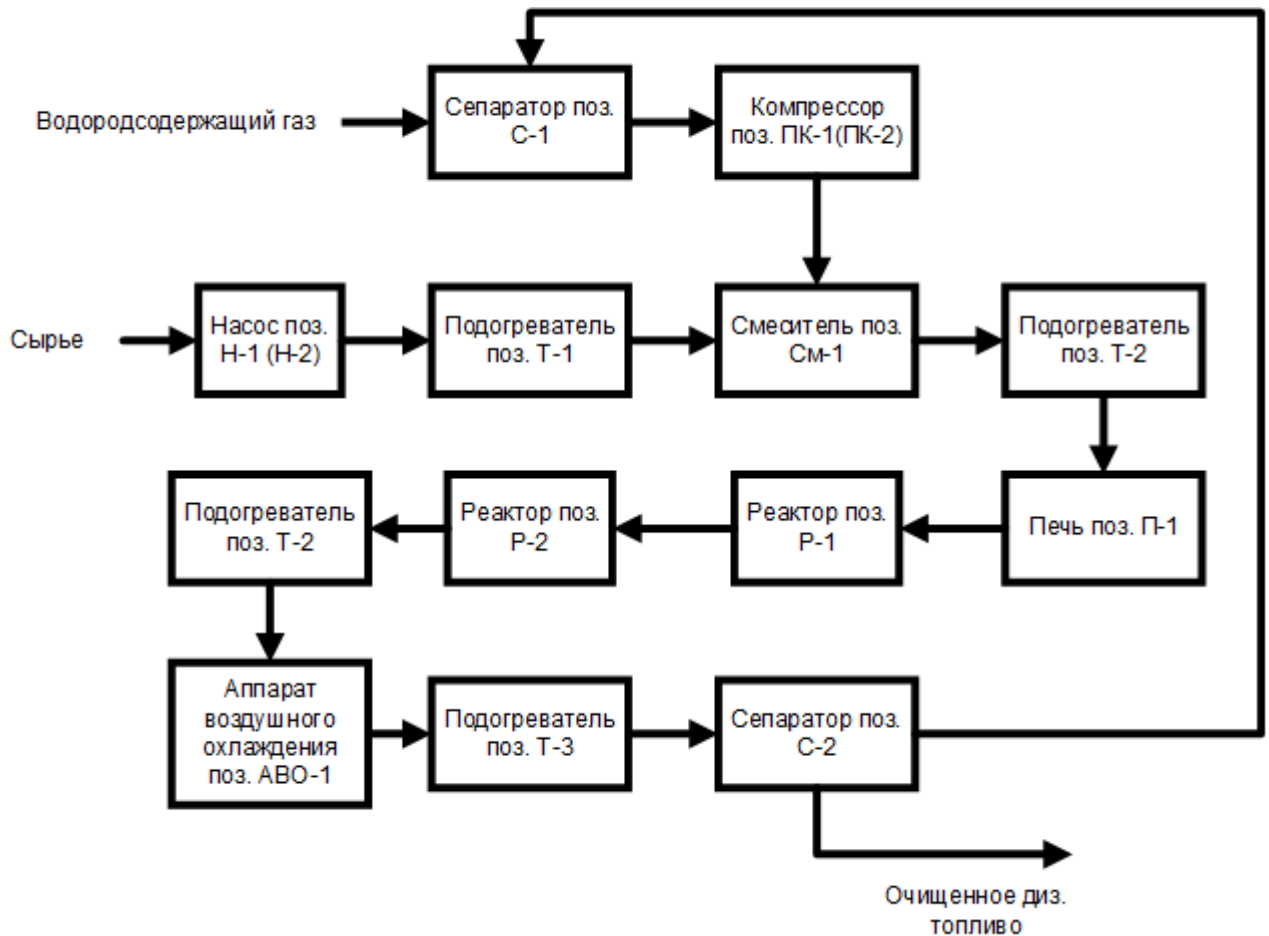


Рисунок 1 – Блок-схема участка установки гидроочистки дизельных топлив

Таблица 1 – Перечень систем защит и описания их функции и стоимость

№	Обозначение в табл. 4, 5	Наименование	Функция	Стоимость
1.	A	TIRSAHH-1/1,2, TIRSAHH-2/1,2	Остановка насоса поз. Н-1/Н-2 при достижении температуры подшипников вала насоса поз. Н-1/Н-2 максимального значения	2 500 000
2.	B	TIRSAHH-3/1,2, TIRSAHH-4/1,2	Остановка насоса поз. Н-1/Н-2 при достижении температуры подшипников электродвигателя насоса поз. Н-1/Н-2 максимального значения	2 500 000
3.	C	QIRSA-1	Остановка насоса поз. Н-1/Н-2 при достижении концентрации углеводородов вблизи насосов поз. Н-1/Н-2 максимального значения	1 000 000
4.	D	LS-3	Останов насоса поз. Н-1(Н-2) при отсутствии уровня в приемном трубопроводе.	700 000
5.	E	ПАЗ-FIRSA-2	Остановка насоса поз. Н-1/Н-2 и компрессора поз. ПК-1/ПК-2 при падении расхода дизельного топлива после насоса поз. Н-1/Н-2 до минимального значения	700 000
6.	F	ПАЗ-PIRSA-2	Остановка компрессора поз. ПК-1/ПК-2, сброс ВСГ на свечу, остановка технологического процесса при росте давления на всасе компрессора поз. ПК-1/ПК-2 до максимального значения	900 000
7.	G	ПАЗ-PIRSA-5	Остановка компрессора поз. ПК-1/ПК-2, сброс ВСГ на свечу, остановка технологического процесса при росте давления на нагнетании компрессора поз. ПК-1/ПК-2 до максимального значения	900 000
8.	H	ПАЗ-FIRSA-3	Остановка компрессора поз. ПК-1/ПК-2, сброс ВСГ на свечу, остановка технологического процесса при снижении расхода ВСГ на нагнетании компрессора поз. ПК-1/ПК-2 до минимального значения	700 000
9.	I	ПАЗ-LIRSAHH-2	Остановка компрессора поз. ПК-1/ПК-2, остановка технологического процесса при росте уровня в сепараторе поз. С-1 до максимального значения	700 000
10.	J	ПАЗ-QIRSA-2	Остановка компрессора поз. ПК-1/ПК-2, сброс ВСГ на свечу, остановка технологического процесса при росте концентрации водорода вблизи компрессора поз. ПК-1/ПК-2 до максимального значения	1 000 000

Продолжение таблицы 1

11.	К	ПАЗ-PdIRSA-3,4	Остановка компрессора поз. ПК-1/ПК-2, сброс ВСГ на свечу, остановка технологического процесса при росте перепада давления между всасом и нагнетанием компрессора поз. ПК-1/ПК-2 до максимального значения	1 500 000
12.	L	ПАЗ-TIRSAHH-5	Остановка компрессора поз. ПК-1/ПК-2, сброс ВСГ на свечу, остановка технологического процесса при росте температуры на нагнетании компрессора поз. ПК-1/ПК-2 до максимального значения	1 200 000
13.	M	ПАЗ-PIRSA-11	Остановка технологического процесса при снижении давления после реакторов поз. P-1/P-2 до минимального значения	900 000
14.	N	ПАЗ-TIRSAHH-73,74/1,2	Остановка компрессора поз. ПК-1/ПК-2 при достижении температуры подшипников компрессора поз. ПК-1/ПК-2 максимального значения	3 000 000
15.	O	ПАЗ-PIRSA-12	Остановка компрессора поз. ПК-1/ПК-2, остановка технологического процесса при снижении давления на нагнетании масляного насоса поз. МН-1,2 до минимального значения	900 000
16.	P	ПАЗ-PIRSA-13	Остановка компрессора поз. ПК-1/ПК-2, остановка технологического процесса при снижении обратной воды на выходе из масляного холодильника поз. МХ-1 до минимального значения	900 000
17.	Q	ПАЗ-PIRSALL-16	Остановка печи поз. П-1 при снижении давления топливного газа на основные горелки до минимального значения	900 000
18.	R	ПАЗ-PIRSALL-6	Остановка технологического процесса, подача пара в змеевики печи поз. П-1 при снижении давления газосырьевой смеси на входе в печь поз. П-1 до минимального значения	900 000
19.	S	ПАЗ-BSA-17...32	Остановка печи поз. П-1 при погасании пилотных горелок	10 000 000
20.	T	ПАЗ-BSA-1...16	Остановка печи поз. П-1 при погасании основных горелок	10 000 000
21.	U	ПАЗ-TIRSA-9	Остановка технологического процесса при росте температуры газосырьевой смеси после печи поз. П-1 до максимального значения	1 200 000
22.	V	ПАЗ-PIRSA-17	Остановка печи поз. П-1 при снижении давления топливного газа на пилотные горелки до минимального значения	900 000

2.2 Этап 1: HAZOP-анализ для выявления опасностей

Цель анализа HAZOP – выявление/идентификация возможных отклонений в безопасности и работоспособности технологической системы, которые могут создать существенные риски для персонала, окружающей среды и технологического процесса.

Результаты анализа HAZOP являются исходными данными для этапов работ в части распределения функций безопасности по слоям защиты, назначения УПБ приборным контурам защит (SIF) с применением метода анализа деревьев неисправности.

Сессия HAZOP проводилась в течение 4 рабочих дней.

В проведении процедуры HAZOP участвовали представители следующих организаций:

- **От «ЦИТР «Ризикон»:**
 - Грановский Эдуард Алексеевич - Генеральный директор компании ООО «ЦИТР «Ризикон».
 - Ковальский Федор Сергеевич - Аспирант РХТУ им. Д.И. Менделеева, инженер-технолог, руководитель исследования.
 - Лебедева Анастасия Михайловна - Бакалавр РХТУ им. Д.И. Менделеева, Инженер, секретарь-регистратор.
- **От Предприятия:**
 - Специалист, эксплуатирующий установку (технолог).
 - Начальник отделения.
 - Специалист по системе управления процессом (КИП, АСУ ТП).
 - Специалист по техническому обслуживанию установки (механик).
 - Ведущий инженер от проектного управления.

При проведении анализа HAZOP не допускалось отклонений от процедуры и методологии исследования, установленных в ГОСТ Р 27.012 -2019 (МЭК 61882:2016) Надежность в технике. Исследование опасности и работоспособности (HAZOP) [55]. Дискуссия по поставленным на обсуждение вопросам была

конструктивной.

В ходе сессии HAZOP были проведены:

- оценка текущего уровня безопасности компрессора природного газа;
- анализ опасностей, обусловленных технологическим процессом.

Все результаты анализа HAZOP детально рассмотрены, прошли коллективную проверку и корректировку, и занесены в рабочие таблицы. Рабочие таблицы HAZOP приведены в Приложении 2.

В результате HAZOP-анализа [92] было выявлено:

- 3 последствия приводят к гибели человека от поражающих факторов взрыва и пожара;
- 19 последствий приводят к экономическим потерям, вызванным простоем, потерей оборудования и ресурсов и др.

2.3 Этап 2: Определение допустимых критериев рисков

2.3.1 Индивидуальный риск гибели персонала

С целью определения допустимого индивидуального риска персонала предприятия, в качестве фонового был выбран индивидуальный риска гибели от пожаров, взрывов и отравлений в России в быту:

Таблица 2 – Статистические данные о гибели человека от пожаров и отравлений в быту

Год	2018	2019	2020	2021	2022
Численность населения в Москве, чел. [93]	12 615 300	12 678 100	12 655 500	13 015 100	13104200
	Количество погибших, чел.				
Доклад МЧС РФ [94]					
Количество погибших от пожаров по субъектам РФ (всего)	120	215	200	204	186
Смертность по основным классам причин смерти [93]					
Количество погибших от случайных отравлений, чел. [93]	469	365	663	661	649
Сумма погибших, чел	589	580	863	865	835
Вероятность, год ⁻¹	4,67E-05	4,57E-05	6,82E-05	6,65E-05	6,37E-05

На основании этих статистических данных может быть рассчитан риск гибели человека в быту в течение года по причинам, аналогичным авариям на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах (взрывы, пожары, отравления), который с учетом доверительного интервала при доверительной вероятности $\alpha=0,95$ составляет:

$$R_{\text{фон,б}}^{\text{инд}} = 5,82 \cdot 10^{-5} \pm 1,27 \cdot 10^{-5} \quad (10)$$

Консервативно примем $R_{\text{фон,б}}^{\text{инд}} = 1 \cdot 10^{-5}$ в год.

Верхняя граница допустимого индивидуального риска персонала ОПО установлена на уровне $R_{\text{ир.опо}}^{\text{в}} = 1,0 \cdot 10^{-5}$ в год.

С учетом погрешности оценки вероятности события методами FTA и ETA составляет $\Delta R_{\text{ир.опо}}^{\text{ди}} = R_{\text{ир.опо}}^{\text{р}} \cdot 10^{\pm 1}$, то нижняя граница допустимого риска в соответствии с принципом ALARP может быть установлена на уровне

$$R_{\text{ир.опо}}^{\text{н}} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ в год.}$$

Таким образом, область принятия решений с учетом технической возможности и экономической целесообразности в соответствии с принципом ALARP составит $10^{-5} > R_{\text{ир.опо}}^{\text{пр}} > 10^{-6}$ в год.

В соответствии с п. 7.4.2.10 ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012 «Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью Часть 1. Общие требования» [95] допустимый риск должен устанавливаться для каждого опасного события, выявленного в процессе HAZOP исследования, поэтому он определялся исходя из условия, чтобы суммарный индивидуальный риск от аварий не превышал установленных выше значений.

В процессе анализа опасности на сессии HAZOP было выявлена 1 аварийная ситуация, приводящая к гибели персонала. Тогда область принятия решений:

$$10^{-5} > R_{\text{ир.опо}}^{\text{пр}} > 10^{-6} \text{ в год} \quad (11)$$

Линия постоянного индивидуального риска для участка установки гидроочистки дизельных топлив, где сочетание вероятности и последствий остается постоянной величиной равной установленным выше значениям,

представлена на рисунке 2.

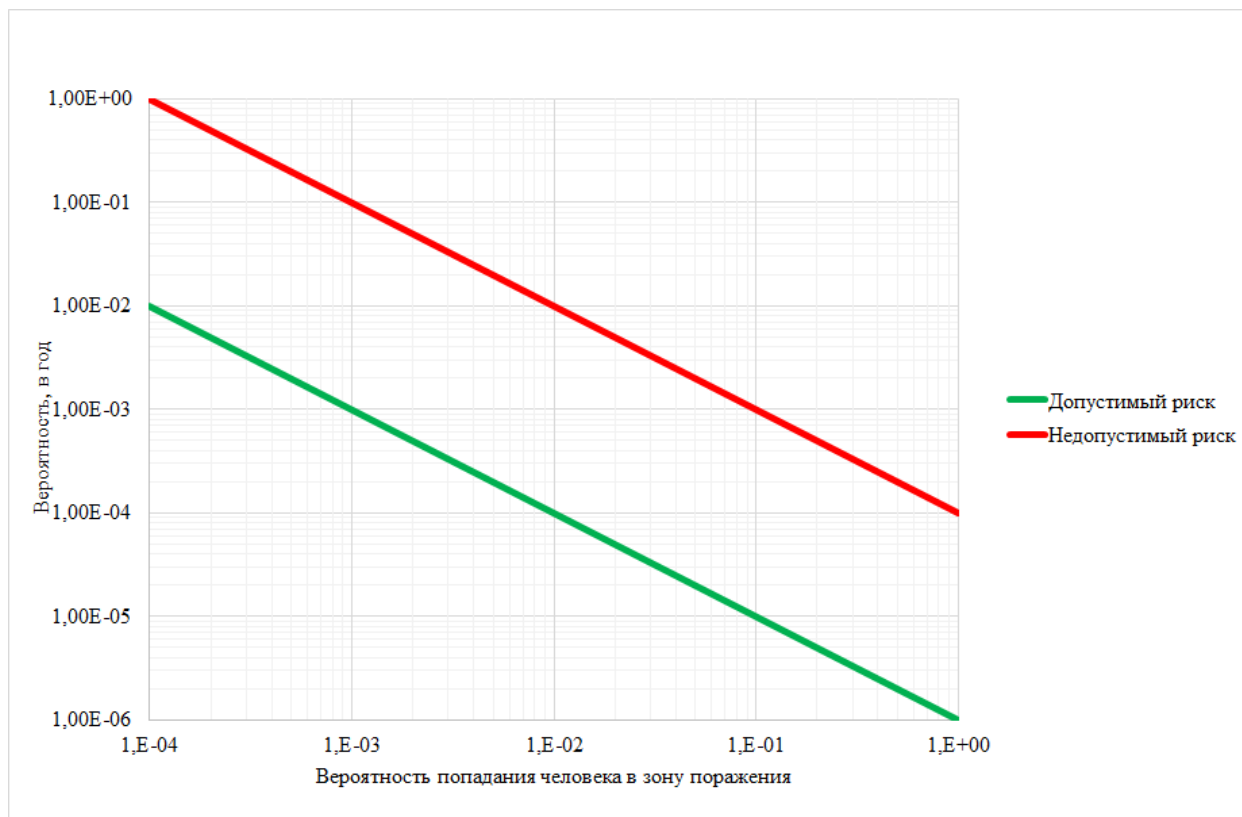


Рисунок 2 – График допустимого и недопустимого уровней индивидуального риска для участка установки гидроочистки дизельных топлив

2.3.2 Экологический риск

Так как в процессе анализа опасности на сессии HAZOP для компрессора природного газа не было выявлено аварийных ситуаций, приводящих к загрязнению окружающей среды, допустимый экологический риск не рассчитывался.

2.3.3 Экономический риск

Для определения допустимого уровня экономического риска было принято, что потеря более 250 млн. руб. в год из-за аварий приведет к банкротству предприятия ($G_{\text{бнк}} = 2,5 \cdot 10^8$ рублей/год).

Если причинами банкротства независимыми от аварий и потери работоспособности оборудования, являются недобросовестная конкуренция, ошибки в управлении предприятием, кризисы, революции, войны и т.п., то можно предположить, что раз в сто лет такие события происходят. Вероятность того, что банкротство произойдет в течение одного года по независимым от аварий

причинам $P_{\text{бнк}}^{\text{нп}} = 10^{-2}$. Тогда фоновый риск банкротства составит $R_{\text{ф,бнк}} = P_{\text{бнк}}^{\text{нп}} \cdot G_{\text{бнк}} = 2,5 \cdot 10^6$ рублей/год.

Чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию производства значение верхней границы ожидаемого ущерба (допустимого риска) $R_{\text{доп,бнк}}^{\text{в}} = 2,5 \cdot 10^6$ рублей/год, абсолютно допустимый риск банкротства полагается если по причине аварий и потери работоспособности он будет происходить меньше, чем один раз в 1000 лет ($R_{\text{доп,бнк}}^{\text{в}} = 2,5 \cdot 10^5$ рублей/год)

Таким образом, область принятия решений с учетом технической возможности и экономической целесообразности в соответствии с принципом ALARP составит $2,5 \cdot 10^6$ рублей/год $> R_{\text{доп,бнк}} > 2,5 \cdot 10^5$ рублей/год.

В соответствии с п. 7.4.2.10 ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012 «Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью Часть 1. Общие требования» [95] допустимый риск должен устанавливаться для каждого опасного события, выявленного в процессе HAZOP исследования, поэтому он определялся нами исходя из условия, чтобы суммарный экономический риск от аварий не превышал установленных выше значений.

Линия постоянного экономического риска для участка установки гидроочистки дизельных топлив, где сочетание вероятности и последствий остается постоянной величиной равной установленным выше значениям, представлена на рисунке 3.

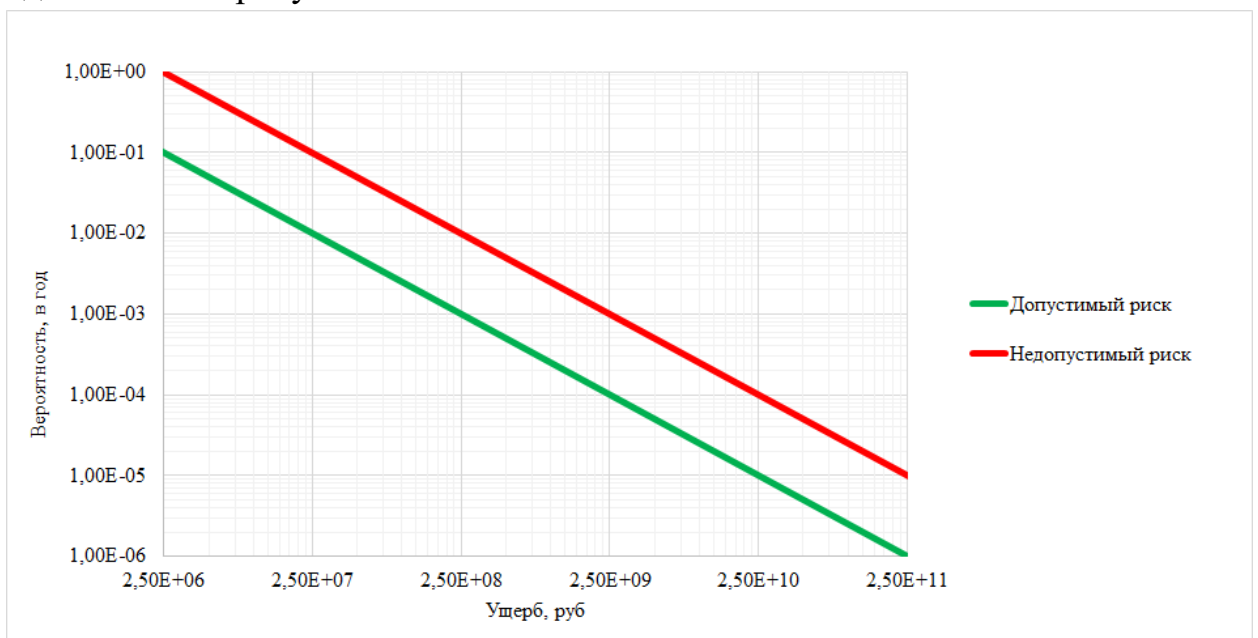


Рисунок 3 – График допустимого и недопустимого уровней экономического риска для участка установки гидроочистки дизельных топлив

2.4 Этап 3: Построение деревьев отказов для критических сценариев

Для каждого опасного события, выявленного по результатам HAZOP исследования разрабатывается «Дерево отказов» с учетом всех выявленных в процессе HAZOP исследования отклонений, их причин и взаимного влияния во всех частях системы, приводящих к рассматриваемой опасности. «Деревья отказов» строились с использованием интерактивных таблицы «HAZAR» программного комплекса RizEx-3.

При обработке разработанного «дерева отказов» учитывались вероятности отказов и ошибок персонала, приведенные в Приложении 4 таблице 8.

В соответствии с возможными последствиями, выявленными в процессе HAZOP исследования, оценивалась их тяжесть.

С использованием результатов оценки последствий определяется вероятность каждого верхнего события «дерева отказов» ниже которой риск этого события будет меньше допустимого. В дальнейшем для принятия решений выбирается та вероятность из рассмотренных возможных последствий, которая имеет наименьшее значение.

Изъятием из «дерева отказов» всех систем, выполняющих функции безопасности, оценивается вероятность верхнего события, соответствующая риску управляемого оборудования (УО) – то есть оборудования, работающего без систем защит. Определяются полные требования безопасности, как снижение риска всеми системами безопасности от риска, создаваемого УО, до допустимого риска, установленного для каждой опасности, рассматриваемой по результатам HAZOP исследования.

Деревья отказов для участка установки гидроочистки дизельных топлив иллюстрирующие развитие аварий, представляющих опасность для жизни персонала, представлены в Приложении 3 рисунки 25 - 27

2.5 Этап 4: Оптимизация затрат на безопасность

Получив логико-графическое представление развития всех выявленных в результате HAZOP аварий возможно перейти к более глубокому анализу и

принятию решения для достижения приемлемого уровня риска.

Для этого, вначале рассчитывался риск, создаваемый оборудованием без систем защиты. Графическое отображение риска, создаваемого оборудованием представлено на рисунках 4, 5.

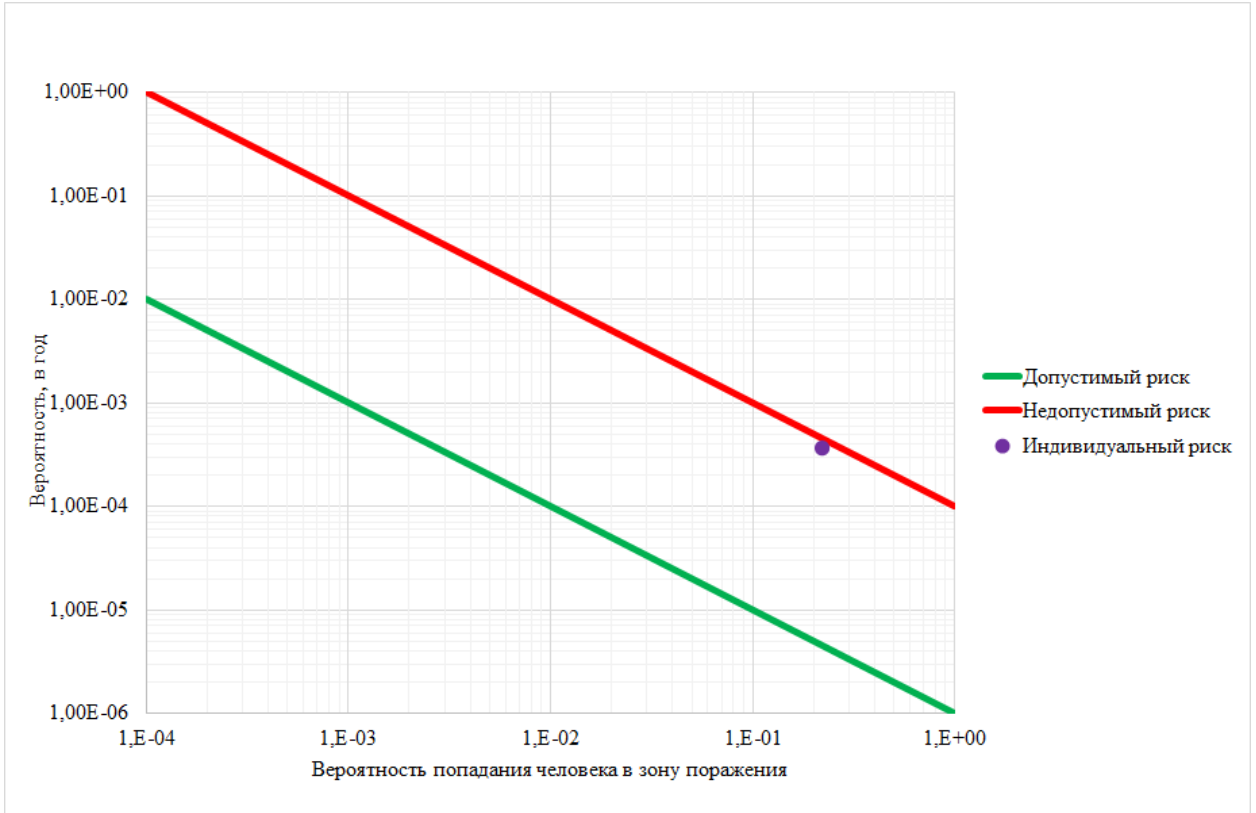


Рисунок 4 – Графическое отображение индивидуального риска, создаваемого оборудованием без систем защиты, для участка установки гидроочистки ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

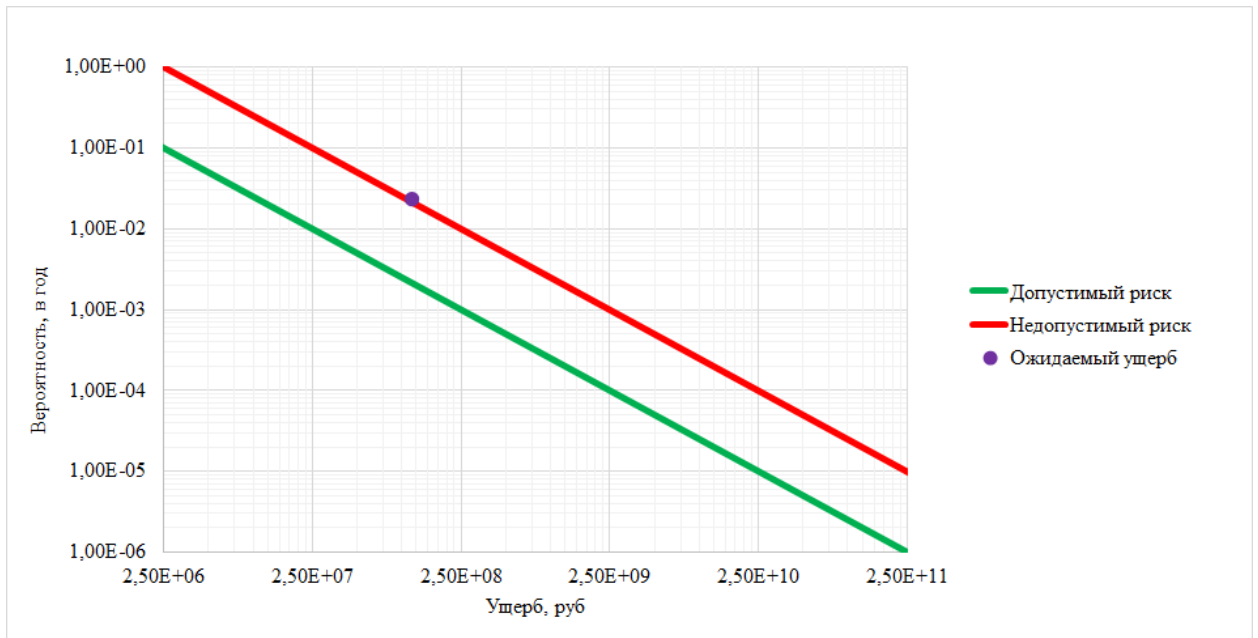


Рисунок 5 – Графическое отображение экономического риска, создаваемого оборудованием без систем защиты, для участка установки гидроочистки дизельных топлив

Как видно по графикам - как в случае индивидуального риска, так и в случае экономического риска - значения находятся выше недопустимого уровня риска. Это означает, что риск, создаваемый оборудованием без систем защиты требует управления - внесения дополнительных контуров защиты для его снижения.

Снижение риска начнем с индивидуального риска.

Для принятия решения о том, какая из предусмотренных проектом систем защиты приводит к наибольшему снижению риска при наименьших затратах, воспользуемся ИЭЭ, описанного в разделе 1.8.

Определим ИЭЭ для каждого контура ПАЗ на основе их влияния на риск гибели человека (таблица 3)

Таблица 3 – Перечень контуров ПАЗ и определенного ИЭЭ для участка установки гидроочистки дизельных топлив

№	Наименование	ИЭЭ, 1/руб.
1.	TIRSAHH-1/1,2, TIRSAHH-2/1,2	0
2.	TIRSAHH-3/1,2, TIRSAHH-4/1,2	0
3.	QIRSA-1	1,79E-6
4.	LS-3	0
5.	ПАЗ-FIRSA-2	0
6.	ПАЗ-PIRSA-2	0

Продолжение таблицы 3

7.	ПА3-PIRSA-5	0
8.	ПА3-FIRSA-3	0
9.	ПА3-LIRSAHH-2	0
10.	ПА3-QIRSA-2	1,00E-6
11.	ПА3-PdIRSA-3,4	0
12.	ПА3-TIRSAHH-5	0
13.	ПА3-PIRSA-11	0
14.	ПА3-TIRSAHH-73,74/1,2	0
15.	ПА3-PIRSA-12	0
16.	ПА3-PIRSA-13	0
17.	ПА3-PIRSALL-16	1,28E-06
18.	ПА3-PIRSALL-6	0
19.	ПА3-BSA-17...32	1,84E-07
20.	ПА3-BSA-1...16	1,84E-07
21.	ПА3-TIRSA-9	0
22.	ПА3-PIRSA-17	1,35E-06
23.	ПА3-PIRSA-15	1,22E-06

Как видно, наиболее высокий ИЭЭ характерен для контура QIRSA-1, который при загазованности вблизи насосов поз. Н-1, Н-2 включает светозвуковую сигнализацию и останавливает технологический процесс для снижения массы выброса и, следовательно, зоны поражения. Данный контур влияет на последствие «Нарушение герметичности насоса поз. Н-1(Н-2), розлив ЛВЖ на площадку. Пожар пролива. Гибель/травмирование человека.» вероятность реализации которого наибольшая, среди двух других последствий, которые приводят к гибели персонала. В связи с этим решение о первичном выборе данного контура является обоснованным.

Для последующего принятия решений, необходимо вновь определить ИЭЭ для каждого контура, так как предыдущий выбор изменил веса всех контуров (таблица 4, итерация 1). Перед каждой новой итерацией принятия решений, необходимо заново определять ИЭЭ для всех контуров, кроме уже добавленных в систему защиты.

Процесс определения минимально необходимой комбинации систем защит для достижения приемлемого риска для персонала представлен в таблице 4. При этом, значение индивидуального риска определяется с использованием деревьев отказов. Суммарный индивидуальный риск равен сумме индивидуальных рисков гибели персонала в следствие развития аварийной ситуации.

Значения ИЭЭ равные 0 указывают на то, что рассматриваемый контур не влияет на величину риска (частное между риском без контура и с контуром равно 1).

Таблица 4 – Процесс поиска оптимальной комбинации систем защит, приводящих к допустимому индивидуальному риску при минимальных затратах для участка установки гидроочистки дизельных топлив

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	ИЭЭ	Сумм. инд. риск	
1 итерация																											
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		7,98E-05
A	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
B	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
C	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,79E-06	4,45E-05
D	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
E	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
F	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
G	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
H	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
I	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
J	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00E-06	7,97E-05
K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
L	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
M	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
O	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
P	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
Q	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
R	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
S	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1,84E-07	4,34E-05
T	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1,84E-07	4,34E-05
U	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0	7,98E-05
V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1,35E-06	6,55E-05
W	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1,22E-06	7,26E-05
X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1,28E-06	6,95E-05

Продолжение таблицы 4

2 итерация																												
	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4,45E-05	
A	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
B	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
D	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
E	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
F	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
G	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
H	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
I	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
J	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00E-06	4,44E-05
K	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
L	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
M	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
N	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
O	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
P	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
Q	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
R	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
S	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	5,47E-07	8,14E-06
T	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	5,47E-07	8,14E-06
U	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0	4,45E-05
V	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1,64E-06	3,02E-05
W	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1,33E-06	3,73E-05
X	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1,45E-06	3,42E-05	

Продолжение таблицы 4

3 итерация																										
	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1		3,02E-05
A	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
B	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
D	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
E	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
F	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
G	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
H	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
I	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
J	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1,01E-06	3,01E-05
K	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
L	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
M	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
N	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
O	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
P	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
Q	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
R	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	0	3,02E-05
S	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	4,50E-07	6,71E-06
T	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	1	4,50E-07	6,71E-06
U	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1	0	3,02E-05
W	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1,46E-06	2,30E-05
X	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1,69E-06	1,99E-05

Продолжение таблицы 4

4 итерация																										
	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1		1,99E-05
A	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
B	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
D	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
E	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
F	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
G	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
H	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
I	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
J	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1,01E-06	1,97E-05
K	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
L	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
M	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
N	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
O	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
P	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
Q	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
R	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,99E-05
S	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	0,1	3,50E-07	5,68E-06
T	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	0,1	3,50E-07	5,68E-06
U	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	1,99E-05
W	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	1,39E-06	1,59E-05

Продолжение таблицы 4

5 итерация																										
	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1		1,59E-05
A	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
B	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
D	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
E	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
F	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
G	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
H	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
I	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
J	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	1,01E-06	1,57E-05
K	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
L	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
M	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
N	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
O	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
P	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
Q	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
R	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05
S	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	3,01E-07	5,28E-06
T	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	3,01E-07	5,28E-06
U	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-05

Продолжение таблицы 4

6 итерация																											
	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1		1,57E-05
A	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
B	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
D	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
E	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
F	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
G	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
H	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
I	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
K	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
L	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
M	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
N	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
O	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
P	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
Q	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
R	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05
S	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	3,07E-07	5,12E-06
T	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	3,07E-07	5,12E-06
U	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	1,57E-05

Продолжение таблицы 4

7 итерация																											
	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1			
A	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
B	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
D	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
E	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
F	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
G	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
H	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
I	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
K	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
L	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
M	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
N	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
O	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
P	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
Q	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
R	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	
T	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	1,26E-07	4,06E-06	
U	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	5,12E-06	

Продолжение таблицы 4

8 итерация																											
	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1		4,06E-06	
A	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
B	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
D	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
E	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
F	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
G	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
H	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
I	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
K	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
L	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
M	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
N	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
O	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
P	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
Q	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
R	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	
U	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	4,06E-06	

На 8 итерации учтены уже все предусмотренные проектом контура безопасности. В графическом отображении процесс поиска оптимальной комбинации систем защиты представлен на рисунке 6.

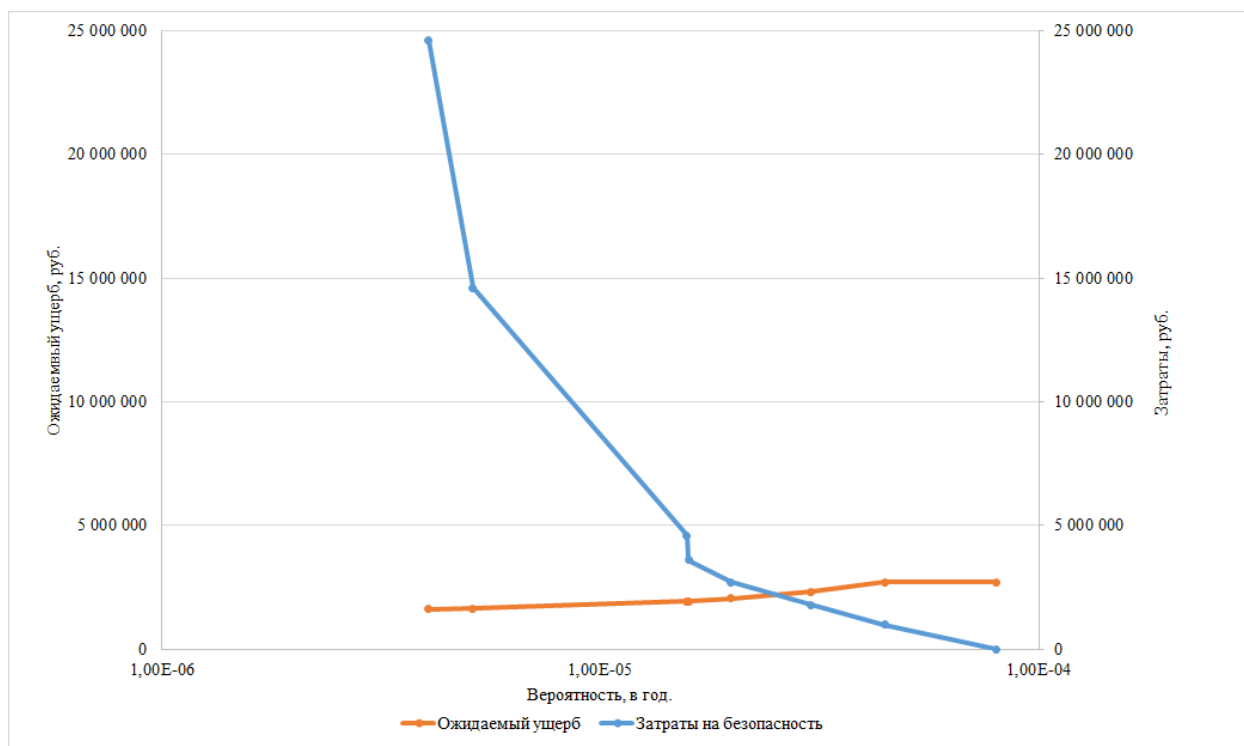


Рисунок 6 – Графическое отображение процесса поиска оптимальной комбинации систем защиты для участка установки гидроочистки дизельных топлив

Как видно по графикам, минимальный уровень риска, который удалось достичь – $4,06E-06$ в год, что превышает допустимый уровень индивидуального риска.

При этом, контур ПАЗ, который оказывает наибольшее влияние на снижения риска гибели персонала - QIRSA-1 с надежностью на уровне SIL 1 (вероятность отказа не выше 0,1 в год). Для приведения уровня риска к приемлемым значениям повысим уровень полноты безопасности до SIL 2, что также увеличит стоимость контура в 1,5 раза. После этого, необходимо повторить итерации заново (таблица 5).

Таблица 5 – Процесс поиска оптимальной комбинации систем защит, приводящих к допустимому индивидуальному риску при минимальных затратах для участка установки гидроочистки дизельных топлив после предъявления повышенных требований к контуру QIRSA-1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	ИЭЭ	Сумм. инд. риск	
1 итерация																											
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		7,98E-05
A	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
B	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
C	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,79E-06	4,45E-05
D	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
E	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
F	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
G	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
H	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
I	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
J	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00E-06	7,97E-05
K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
L	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
M	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
O	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
P	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
Q	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
R	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0	7,98E-05
S	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1,84E-07	4,34E-05
T	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1,84E-07	4,34E-05
U	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0	7,98E-05
V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1,35E-06	6,55E-05
W	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1,22E-06	7,26E-05
X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1,28E-06	6,95E-05

Продолжение таблицы 5

2 итерация																											
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1		6,55E-05
A	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05
B	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05
C	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1,64E-06	2,67E-05	
D	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05	
E	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05	
F	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05	
G	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05	
H	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05	
I	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05	
J	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1,00E-06	6,54E-05	
K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05	
L	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05	
M	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05	
N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05	
O	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05	
P	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05	
Q	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05	
R	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	0	6,55E-05	
S	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1,56E-07	4,2E-05	
T	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	1,56E-07	4,2E-05	
U	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1	0	6,55E-05	
W	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1,25E-06	5,83E-05	
X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1,32E-06	5,52E-05	

Продолжение таблицы 5

3 итерация																										
	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1		2,67E-05
A	0,1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
B	1	0,1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
D	1	1	0,01	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
E	1	1	0,01	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
F	1	1	0,01	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
G	1	1	0,01	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
H	1	1	0,01	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
I	1	1	0,01	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
J	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1,01E-06	2,65E-05
K	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
L	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
M	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
N	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
O	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
P	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
Q	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
R	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	0	2,67E-05
S	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	8,39E-07	3,18E-06
T	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	1	8,39E-07	3,18E-06
U	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1	0	2,67E-05
W	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1,52E-06	1,95E-05
X	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1,81E-06	1,63E-05

Продолжение таблицы 5

4 итерация																										
	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1		1,63E-05
A	0,1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
B	1	0,1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
D	1	1	0,01	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
E	1	1	0,01	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
F	1	1	0,01	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
G	1	1	0,01	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
H	1	1	0,01	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
I	1	1	0,01	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
J	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1,01E-06	1,62E-05
K	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
L	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
M	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
N	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
O	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
P	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
Q	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
R	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
S	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	0,1	7,61E-07	2,15E-06
T	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	0,1	7,61E-07	2,15E-06
U	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	0,1	0	1,63E-05
W	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	1,47E-06	1,24E-05

Продолжение таблицы 5

5 итерация																										
	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1		1,24E-05
A	0,1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
B	1	0,1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
D	1	1	0,01	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
E	1	1	0,01	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
F	1	1	0,01	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
G	1	1	0,01	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
H	1	1	0,01	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
I	1	1	0,01	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
J	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	1,01E-06	1,22E-05
K	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
L	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
M	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
N	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
O	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
P	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
Q	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
R	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05
S	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	7,07E-07	1,75E-06
T	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	7,07E-07	1,75E-06
U	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	1,24E-05

Продолжение таблицы 5

6 итерация																											
	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1		1,22E-05	
A	0,1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
B	1	0,1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
D	1	1	0,01	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
E	1	1	0,01	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
F	1	1	0,01	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
G	1	1	0,01	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
H	1	1	0,01	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
I	1	1	0,01	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
K	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
L	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
M	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
N	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
O	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
P	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
Q	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
R	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05	
S	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	7,68E-07	1,59E-06
T	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	7,68E-07	1,59E-06
U	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	1,22E-05

Продолжение таблицы 5

7 итерация																										
	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1		1,59E-06
A	0,1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
B	1	0,1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
D	1	1	0,01	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
E	1	1	0,01	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
F	1	1	0,01	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
G	1	1	0,01	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
H	1	1	0,01	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
I	1	1	0,01	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
K	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
L	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
M	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
N	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
O	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
P	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
Q	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
R	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06
T	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	3,01E-07	5,28E-07
U	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	1,59E-06

При новом поиске комбинации контуров отличие от первой попытки заключается только в первых двух итерациях. Это объясняется тем, что на первой итерации, за счет повышения стоимости контура QIRSA-1 снизился его ИЭЭ. В то же время, ИЭЭ контура PIRSA-17 стал максимальным, среди остальных. Контур PIRSA-17 оказывает влияние на снижение вероятности события «Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека».

Новый график зависимости затрат на обеспечение безопасности и ожидаемого ущерба к вероятности опасного последствия представлен на рисунке 7.

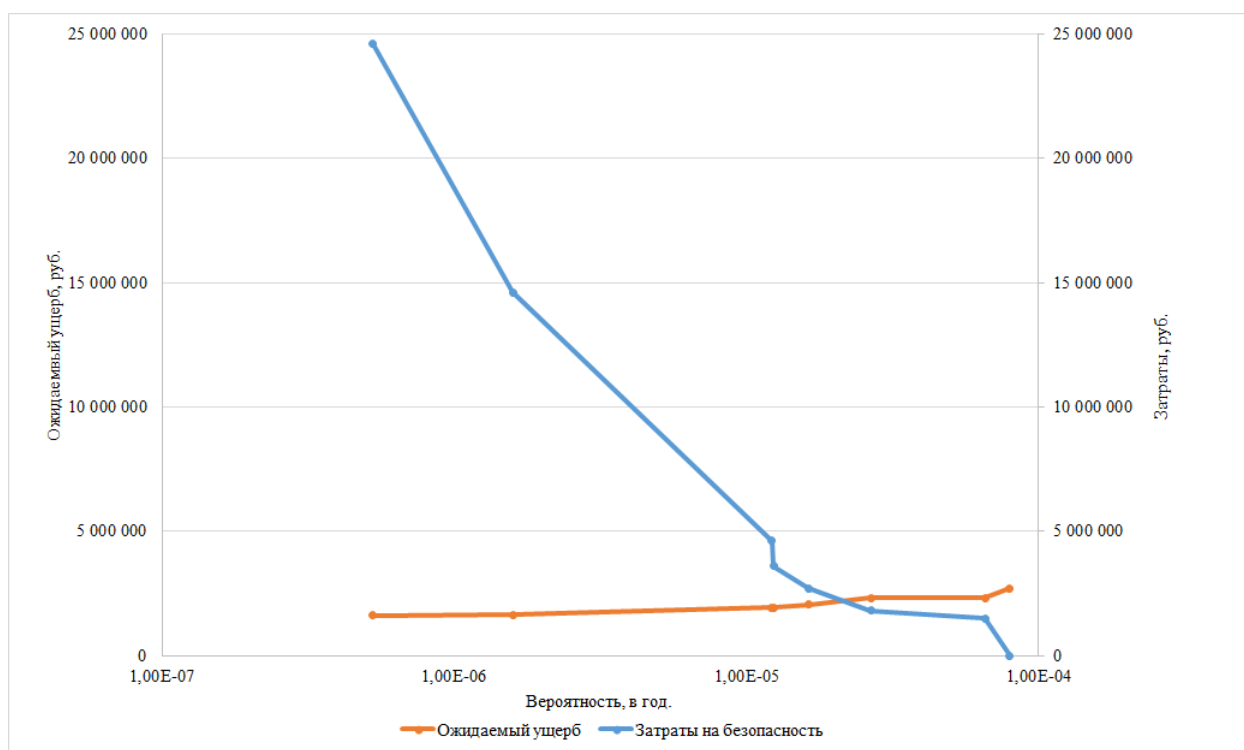


Рисунок 7 – Графическое отображение процесса поиска оптимальной комбинации систем защиты для участка установки гидроочистки дизельных топлив после предъявления повышенных требований к контуру QIRSA-1

В результате удалось достигнуть приемлемого риска на уровне $5,28E-07$ в год. При этом затраты на безопасность составили 25,2 млн., а ожидаемый ущерб - 1,6 млн. руб./год.

Как видно на рисунке 7, графики зависимости затрат на безопасность и ожидаемого ущерба пересекаются в точке. Эта точка соответствует состоянию

системы, в которой затраты на безопасность и ожидаемый ущерб от аварии равны. Увеличение затрат и смещение по координатной оси в левую сторону (понижая вероятность аварии и, как следствие, ожидаемый ущерб) нецелесообразно с экономической точки зрения: Затраты на предотвращение аварий начинают превышать возможный ущерб от них же.

Однако, так как главным принципом предлагаемого способа принятия решений подразумевается обеспечение безопасности человека, как отсутствия недопустимого риска, необходимо продолжать вложение средств в безопасность, пока риск для человека не станет приемлемым.

Ниже представлено отображение рисков после принятия решений (рисунки 8, 9).

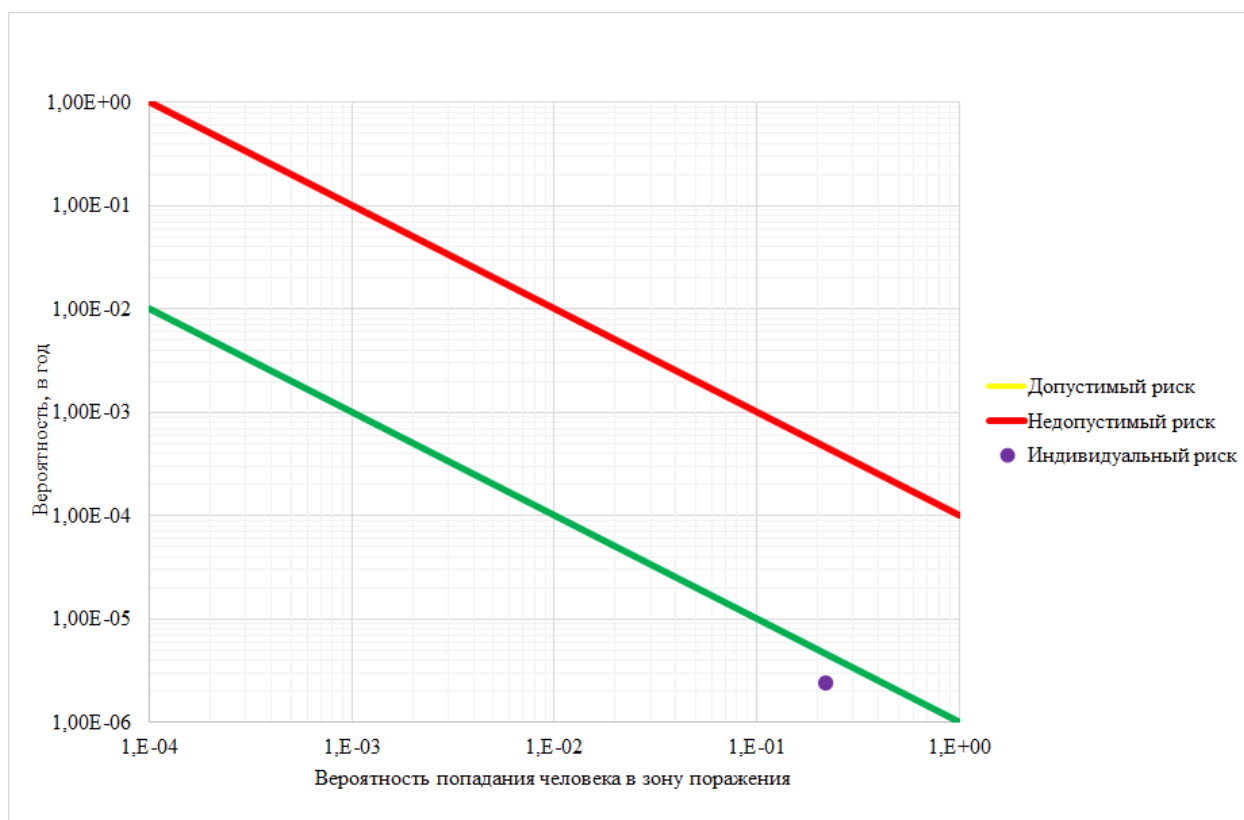


Рисунок 8 – Графическое отображение индивидуального риска, после принятия решений, для участка установки гидроочистки дизельных топлив

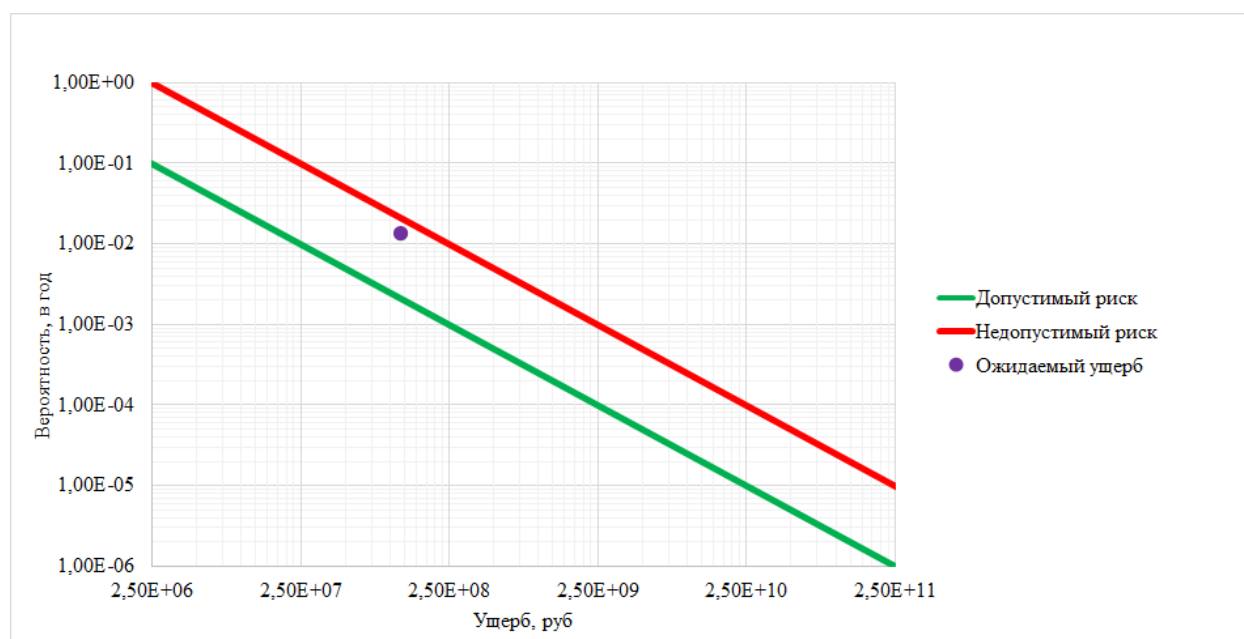


Рисунок 9 – Графическое отображение экономического риска, после принятия решений, для участка установки гидроочистки дизельных топлив

2.6 Выводы

HAZOP-анализ показал, что участок гидроочистки дизельных топлив связан с серьёзными опасностями - три сценария могут привести к гибели персонала из-за взрывов или пожаров, а ещё 19 способны нанести значительный экономический ущерб. Допустимые уровни рисков определены с учётом статистики и принципа ALARP: для персонала верхняя граница индивидуального риска установлена на уровне $1E-05$ в год, что близко к бытовым рискам, а экономические потери не должны превышать $2,5E6$ руб./год, чтобы избежать банкротства. При этом абсолютно допустимые уровни индивидуального и экономического рисков составляют: $1E-06$ в год и $2,5E6$ руб./год

Анализ деревьев отказов позволил получить логико-вероятностную модель развития аварий на установки. Оптимизация систем безопасности через расчёт индекса экономической эффективности выделила контур QIRSA-1 как наиболее значимый – его модернизация до уровня SIL 2 позволила снизить индивидуальный риск до $5,28 \times 10^{-7}$ в год, что ниже допустимого уровня.

С экономической точки зрения, затраты на безопасность (25,2 млн руб.) оказались оправданными, так как удалось достигнуть приемлемого уровня

индивидуального риска. Однако дальнейшее снижение рисков становится нецелесообразным – затраты начинают превышать потенциальные потери.

После достижения допустимого индивидуального риска и зоны принятия решений по экономическим рискам, было принято решение остановиться на выбранной комбинации систем защит. При этом затраты на дополнительные контуры ПАЗ, ранее предусмотренные проектом, были отклонены. В результате стоимость проекта снизилась на 21 млн. руб., что составляет почти половину от ранее заложенных в Проект затрат на безопасность. Результаты работы представлены в [92].

ГЛАВА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПРЕССОРА ПРИРОДНОГО ГАЗА

3.1 Описание объекта исследования

Объект:

Рассматривается двухступенчатый центробежный компрессор природного газа с приводом от паровой турбины, оснащенный маслосистемой, состоящей из главного масляного насоса и масляного холодильника.

Описание технологического процесса:

Природный газ на всас двухступенчатого центробежного компрессора с приводом от паровой турбины поступает из сети предприятия избыточным давлением 1,1 МПа температурой окружающей среды.

Компрессор работает без промежуточного охлаждения газа. Вращающий момент турбины передается ротору цилиндра низкого давления (ЦНД) и далее ротору цилиндра высокого давления посредством пластинчатых соединительных муфт.

Для защиты трубопроводов нагнетания компрессора от недопустимого повышения давления установлены попарно сблокированные предохранительные клапаны на нагнетании компрессора.

Для отключения компрессора на нагнетательном трубопроводе установлен обратный клапан и электрозадвижка.

На нагнетательном трубопроводе до обратного клапана имеется свеча с ручным вентилем для сброса газа в атмосферу.

У компрессора установлены газоанализаторы, сигнализирующие в ЦПУ наличие «горючих» в районе компрессора.

Для защиты от прорыва рабочего газа в помещение машинного зала используется система сухих газовых уплотнений (СГУ). Эта система герметизирует природный газ на концах вала корпуса низкого давления (ЦНД) и высокого давления (ЦВД) компрессора.

Система СГУ состоит из:

- набора лабиринтных уплотнений корпуса компрессора;
- первой ступени сухих газовых уплотнений в сборе;
- второй ступени сухих газовых уплотнений в сборе;
- концевых лабиринтных уплотнений с промежуточной камерой;
- камеры буферного газа;
- камера утечек природного газа первой ступени;
- камера утечек природного газа второй ступени;
- камера барьерного газа;

Природный (буферный) газ отбирается с нагнетания компрессора и с давлением 1,7 МПа подается в камеры первой ступени сухих газовых уплотнений ЦНД и ЦВД. Основная часть газа проходит лабиринтные уплотнения корпуса компрессора, попадает в уравнительную линию всас – нагнетание, где смешивается с газом, поступающим на всас компрессора. Другая часть буферного газа, пройдя первую ступень СГУ попадает в камеру и далее сбрасывается на свечу.

Технологическая схема компрессора природного газа представлена на рисунке 10.

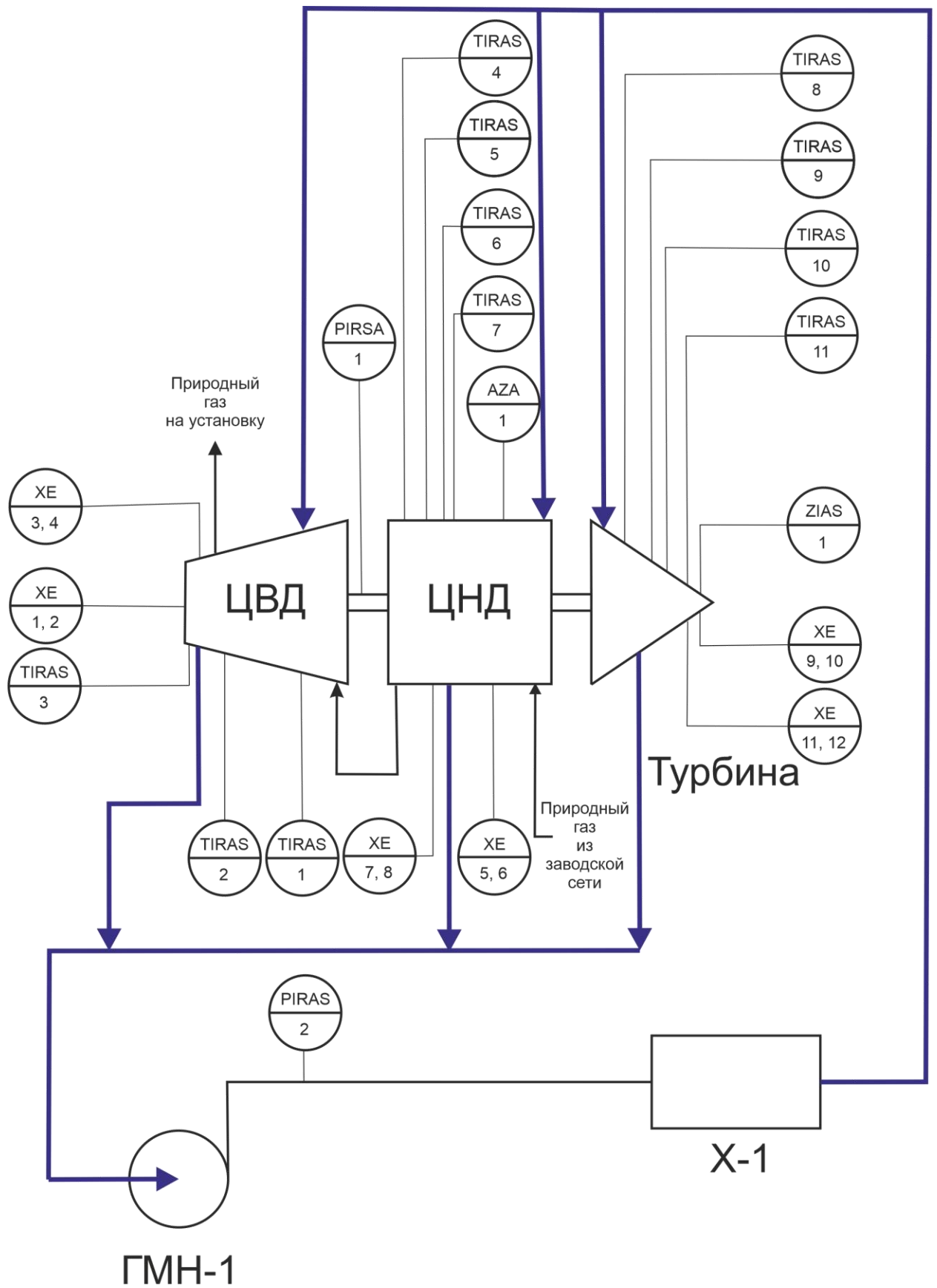


Рисунок 10 – Принципиальная технологическая схема компрессора природного газа с приводом от паровой турбины и маслосистемой

Таблица 6 – Перечень систем защит и описания их функции и стоимости

№	Система защиты	Описание	Стоимость, руб.
1.	ПАЗ-PIRSAH-1	Блокировка при росте давления после уплотнений компрессора природного газа. Остановка компрессора	1 500 000
2.	ПАЗ-AZA-1	Блокировка при повышении содержания природного газа в компрессорной. Остановка компрессора природного газа	1 000 000
3.	ПАЗ-TIRAS-1	Блокировка при росте температуры рабочей колодки ОУП ЦВД компрессора природного газа. Остановка компрессора.	1 250 000
4.	ПАЗ-TIRAS-2	Блокировка при росте температуры опорной части опорно-упорного подшипника ЦВД компрессора природного газа. Остановка компрессора.	1 250 000
5.	ПАЗ-TIRAS-3	Блокировка при росте температуры опорного подшипника ЦВД компрессора природного газа. Остановка компрессора.	1 250 000
6.	ПАЗ-XE-1	Блокировка при росте вибрации вала со стороны ОП ЦВД компрессора природного газа. Остановка компрессора.	500 000
7.	ПАЗ -XE-2	Блокировка при росте вибрации вала со стороны ОП ЦВД компрессора природного газа. Остановка компрессора.	500 000
8.	ПАЗ -XE-3	Блокировка при росте вибрации вала со стороны ОУП ЦВД компрессора природного газа. Остановка компрессора.	500 000
9.	ПАЗ -XE-4	Блокировка при росте вибрации вала со стороны ОУП ЦВД компрессора природного газа. Остановка компрессора.	500 000
10.	ПАЗ-TIRAS-4	Блокировка при росте температуры нерабочей колодки ОУП ЦВД компрессора природного газа. Остановка компрессора	1 250 000
11.	ПАЗ-TIRAS-5	Блокировка при росте температуры рабочей колодки ОУП ЦВД компрессора природного газа. Остановка компрессора.	1 250 000

Продолжение таблицы 6

12.	ПАЗ-TIRAS-6	Блокировка при росте температуры опорной части опорно-упорного подшипника ЦНД компрессора природного газа. Остановка компрессора	1 250 000
13.	ПАЗ-TIRAS-7	Блокировка при росте температуры опорного подшипника ЦНД компрессора природного газа. Остановка компрессора.	1 250 000
14.	ПАЗ -ХЕ-5	Блокировка при росте вибрации вала со стороны ОП ЦНД компрессора природного газа. Остановка компрессора.	500 000
15.	ПАЗ -ХЕ-6	Блокировка при росте вибрации вала со стороны ОП ЦНД компрессора природного газа. Остановка компрессора.	500 000
16.	ПАЗ -ХЕ-7	Блокировка при росте вибрации вала со стороны ОУП ЦНД компрессора природного газа. Остановка компрессора.	500 000
17.	ПАЗ -ХЕ-8	Блокировка при росте вибрации вала со стороны ОУП ЦНД компрессора природного газа. Остановка компрессора.	500 000
18.	ПАЗ-TIRAS-8	Блокировка при росте температуры нерабочих колодок опорно-упорного подшипника турбины компрессора природного газа. Остановка турбины компрессора	1 250 000
19.	ПАЗ-TIRAS-9	Блокировка при росте температуры рабочих колодок опорно-упорного подшипника турбины компрессора природного газа. Остановка турбины компрессора	1 250 000
20.	ПАЗ-TIRAS-10	Блокировка при росте температуры опорной части ОУП турбины компрессора природного газа. Остановка турбины компрессора	1 250 000
21.	ПАЗ-TIRAS-11	Блокировка при росте температуры опорной части ОУП турбины компрессора природного газа. Остановка турбины компрессора	1 250 000
22.	ПАЗ-S-1	Блокировка при росте частоты вращения турбины компрессора природного газа. Остановка турбины	500 000

Продолжение таблицы 6

23.	ПАЗ-ZIAS-1	Блокировка при росте осевого сдвига ротора турбины компрессора природного газа. Остановка турбины компрессора	500 000
24.	ПАЗ -ХЕ-9	Блокировка при росте вибрации вала со стороны ОУП турбины компрессора природного газа. Остановка турбины компрессора	500 000
25.	ПАЗ -ХЕ-10	Блокировка при росте вибрации вала со стороны ОУП турбины компрессора природного газа. Остановка турбины компрессора	500 000
26.	ПАЗ -ХЕ-11	Блокировка при росте вибрации вала со стороны ОП турбины компрессора природного газа. Остановка турбины компрессора	1 000 000
27.	ПАЗ -ХЕ-12	Блокировка при росте вибрации вала со стороны ОП турбины компрессора природного газа. Остановка турбины компрессора	1 500 000
28.	ПАЗ-PIRAS-2	Включение резервного насоса при падении давления на нагнетании основного маслонасоса	1 500 000

3.2 Этап 1: HAZOP-анализ для выявления опасностей

Цель анализа HAZOP - выявление/идентификация возможных отклонений в безопасности и работоспособности технологической системы, которые могут создать существенные риски для персонала, окружающей среды и технологического процесса.

Результаты анализа HAZOP являются исходными данными для этапов работ в части распределения функций безопасности по слоям защиты, назначения УПБ приборным контурам защит с применением методов анализа деревьев неисправности.

Сессия HAZOP проводилась в течение 3 рабочих дней.

В проведении процедуры HAZOP участвовали представители следующих организаций:

- **От «ЦИТР «Ризикон»:**
 - Грановский Эдуард Алексеевич - Генеральный директор компании ООО

«ЦИТР «Ризикон».

- Ковальский Федор Сергеевич - Аспирант РХТУ им. Д.И. Менделеева, инженер-технолог, руководитель исследования.
- Данилова Карина Владимировна - Бакалавр РХТУ им. Д.И. Менделеева, Инженер, секретарь-регистратор.

- **От Предприятия:**

- Специалист, эксплуатирующий установку (технолог).
- Начальник отделения.
- Специалист по системе управления процессом (КИП, АСУ ТП).
- Специалист по техническому обслуживанию установки (механик).
- Ведущий инженер от проектного управления.

При проведении анализа HAZOP не допускалось отклонений от процедуры и методологии исследования, установленных в ГОСТ Р 27.012 -2019 (МЭК 61882:2016) Надежность в технике. Исследование опасности и работоспособности (HAZOP) [55]. Дискуссия по поставленным на обсуждение вопросам была конструктивной.

В ходе сессии HAZOP были проведены:

- оценка текущего уровня безопасности компрессора природного газа;
- анализ опасностей, обусловленных технологическим процессом.

Все результаты анализа HAZOP детально рассмотрены, прошли коллективную проверку и корректировку, и занесены в рабочие таблицы. Рабочие таблицы HAZOP приведены в Приложении 2.

Для компрессора был проведен HAZOP-анализ, в результате которого выявлено:

- 1 последствие, приводящее к гибели человека - «Загазованность помещения компрессорной из-за нарушения герметичности сухих уплотнений. Взрыв. Гибель персонала»;
- 22 последствия, приводящие к экономическим потерям, вследствие простоя или необходимости ремонта оборудования.

3.3 Этап 2: Определение допустимых критериев рисков

3.3.1 Индивидуальный риск гибели персонала

С целью определения допустимого индивидуального риска персонала предприятия, в качестве фонового был выбран индивидуальный риска гибели от пожаров, взрывов и отравлений в Кемеровской области в быту:

Таблица 7 – Статистические данные о гибели человека от пожаров и отравлений в быту

Показатель	2019	2020	2021	2022	2023
Численность населения, чел [96]	2 647 700	2622300	2592000	2568200	2547700
	Количество погибших, чел				
Количество погибших от пожаров, чел[94]	189	218	162	216	168
Количество погибших от случайных отравлений, чел[98]	392	375	307	333	258
Сумма погибших, чел	581	593	469	549	426
Вероятность, год ⁻¹	2,19E-04	2,26E-04	1,81E-04	2,14E-04	1,67E-04

На основании этих статистических данных может быть рассчитан риск гибели человека в быту в течение года по причинам, аналогичным авариям на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах (взрывы, пожары, отравления), который с учетом доверительного интервала при доверительной вероятности $\alpha=0,95$ составляет:

$$R_{\text{фон,б}}^{\text{инд}} = 2,01 \cdot 10^{-4} \pm 0,297^{-4} \quad (12)$$

Консервативно примем $R_{\text{фон,б}}^{\text{инд}} = 1 \cdot 10^{-4}$ в год.

Верхняя граница допустимого индивидуального риска персонала ОПО установлена на уровне $R_{\text{ир.опо}}^{\text{в}} = 1,0 \cdot 10^{-4}$ в год.

С учетом погрешности оценки вероятности события методами FTA и ETA составляет $\Delta R_{\text{ир.опо}}^{\text{ди}} = R_{\text{ир.опо}}^{\text{р}} \cdot 10^{\pm 1}$, то нижняя граница допустимого риска в соответствии с принципом ALARP может быть установлена на уровне

$$R_{\text{ир.опо}}^{\text{н}} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ в год.}$$

Таким образом, область принятия решений с учетом технической

возможности и экономической целесообразности в соответствии с принципом ALARP составит $10^{-4} > R_{\text{ир.опо}}^{\text{пр}} > 10^{-6}$ в год.

В соответствии с п. 7.4.2.10 ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012 «Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью Часть 1. Общие требования» [95] допустимый риск должен устанавливаться для каждого опасного события, выявленного в процессе HAZOP исследования, поэтому он определялся исходя из условия, чтобы суммарный индивидуальный риск от аварий не превышал установленных выше значений.

Линия постоянного риска для компрессора природного газа, где сочетание вероятности и последствий остается постоянной величиной равной установленным выше значениям, представлена на рисунке 11.

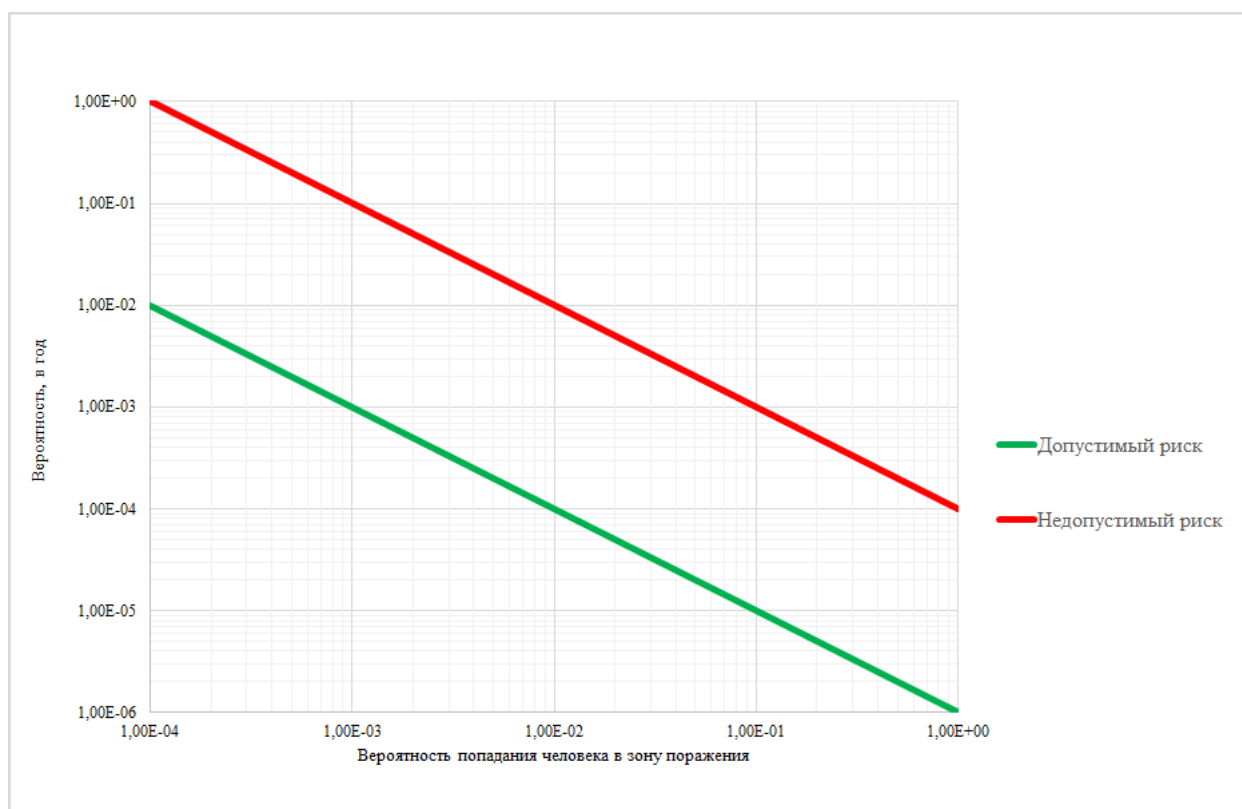


Рисунок 11 – График допустимого и недопустимого уровней индивидуального риска для компрессора природного газа

3.3.2 Экологический риск

Так как в процессе анализа опасности на сессии HAZOP для компрессора

природного газа не было выявлено аварийных ситуаций, приводящих к загрязнению окружающей среды, допустимый экологический риск не рассчитывался.

3.3.3 Экономический риск

Для определения допустимого уровня экономического риска было принято, что потеря более 500 млн. руб. в год из-за аварий на всем заводе приведет к банкротству предприятия ($G_{\text{бнк}} = 5 \cdot 10^8$ рублей/год).

Если причинами банкротства независимыми от аварий и потери работоспособности оборудования, являются недобросовестная конкуренция, ошибки в управлении предприятием, кризисы, революции, войны и т.п., то можно предположить, что раз в сто лет такие события происходят. Вероятность того, что банкротство произойдет в течение одного года по независимым от аварий причинам $P_{\text{бнк}}^{\text{нп}} = 10^{-2}$. Тогда фоновый риск банкротства составит $R_{\text{ф,бнк}} = P_{\text{бнк}}^{\text{нп}} \cdot G_{\text{бнк}} = 5 \cdot 10^6$ рублей/год

Чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию производства значение верхней границы ожидаемого ущерба (допустимого риска) $R_{\text{доп,бнк}}^{\text{в}} = 5 \cdot 10^6$ рублей/год, абсолютно допустимый риск банкротства полагается если по причине аварий и потери работоспособности он будет происходить меньше, чем один раз в 1000 лет ($R_{\text{доп,бнк}}^{\text{в}} = 5 \cdot 10^5$ рублей/год)

Таким образом, область принятия решений с учетом технической возможности и экономической целесообразности в соответствии с принципом ALARP составит $5 \cdot 10^6$ рублей/год $> R_{\text{доп,бнк}} > 5 \cdot 10^5$ рублей/год.

В соответствии с п. 7.4.2.10 ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012 «Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью Часть 1. Общие требования» [95] допустимый риск должен устанавливаться для каждого опасного события, выявленного в процессе HAZOP исследования, поэтому он определялся нами исходя из условия, чтобы суммарный экономический риск от аварий не превышал установленных выше значений.

Линия постоянного риска для компрессора природного газа, где сочетание вероятности и последствий остается постоянной величиной равной установленным выше значениям, представлена на рисунке 12.

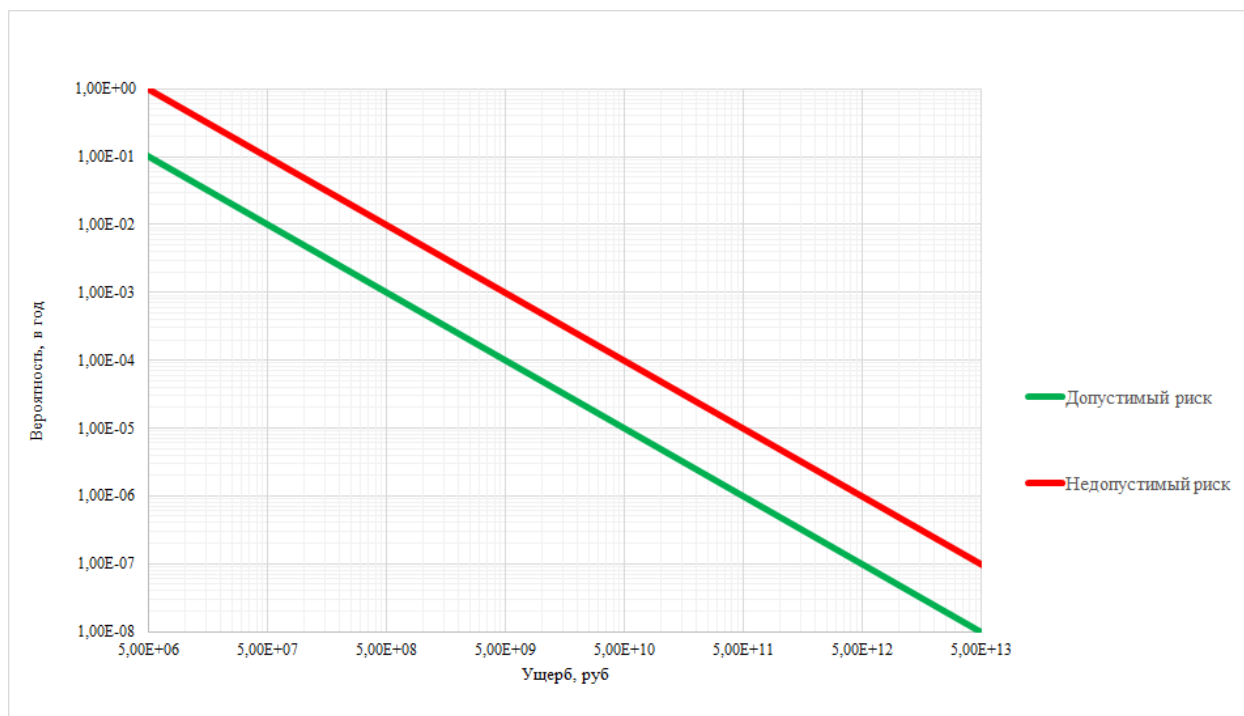


Рисунок 12 – График допустимого и недопустимого уровней экономического риска для компрессора природного газа

3.4 Этап 3: Построение деревьев отказов для критических сценариев

Для каждого опасного события, выявленного по результатам HAZOP исследования разрабатывается «Дерево отказов» в соответствии с п. 2.4.1 с учетом всех выявленных в процессе HAZOP исследования отклонений, их причин и взаимного влияния во всех частях системы, приводящих к рассматриваемой опасности. «Деревья отказов» строились с использованием интерактивных таблицы «HAZAR» программного комплекса RizEx-3.

При обработке разработанного «дерева отказов» учитывались вероятности отказов и ошибок персонала, приведенные в таблице 8.

В соответствии с возможными последствиями, выявленными в процессе HAZOP исследования, оценивалась их тяжесть.

С использованием результатов оценки последствий определяется вероятность каждого верхнего события «дерева отказов» ниже которой риск этого события будет меньше допустимого. В дальнейшем для принятия решений выбирается та вероятность из рассмотренных возможных последствий, которая имеет наименьшее значение.

Изъятием из «дерева отказов» всех систем, выполняющих функции безопасности, оценивается вероятность верхнего события, соответствующая риску управляемого оборудования. Определяются полные требования безопасности, как снижение риска всеми системами безопасности от риска, создаваемого УО, до допустимого риска, установленного для каждой опасности, рассматриваемой по результатам HAZOP исследования.

Дерево отказов для компрессора природного газа иллюстрирующее развитие аварии, представляющей опасность для жизни персонала, представлено в Приложении 3 на рисунке 28.

3.5 Этап 4: Оптимизация затрат на безопасность

Если в разделе 2.1 принимались решения на основе выявленных последствий, которые происходят при отказе контуров ПАЗ, то в данном разделе рассматривалась ситуация, когда срабатывание контура ПАЗ снижает ущерб аварии, но не исключает его.

К примеру, если у насоса вышел из строя подшипник, то в качестве системы защиты первого уровня рассматривается контур ПАЗ по температуре подшипника, который должен отключить насос при превышении температуры максимального значения. Если контур ПАЗ откажет, то авария продолжит своё развитие и, как следствие, приведет к большему ущербу. Если же контур ПАЗ сработает, то он лишь предотвратит дальнейшее развитие аварии, но не повлияет на состояние подшипника и затраты на его замену и сопутствующие траты.

По сравнению с установкой гидроочистки дизельного топлива, значение допустимого индивидуального риска на порядок ниже для установки компрессора природного газа. В связи с этим, задача оптимизации систем защит заведомо сложнее, чем в предшествующей главе.

Графическое отображение риска, создаваемого оборудованием представлено на рисунках 13, 14.

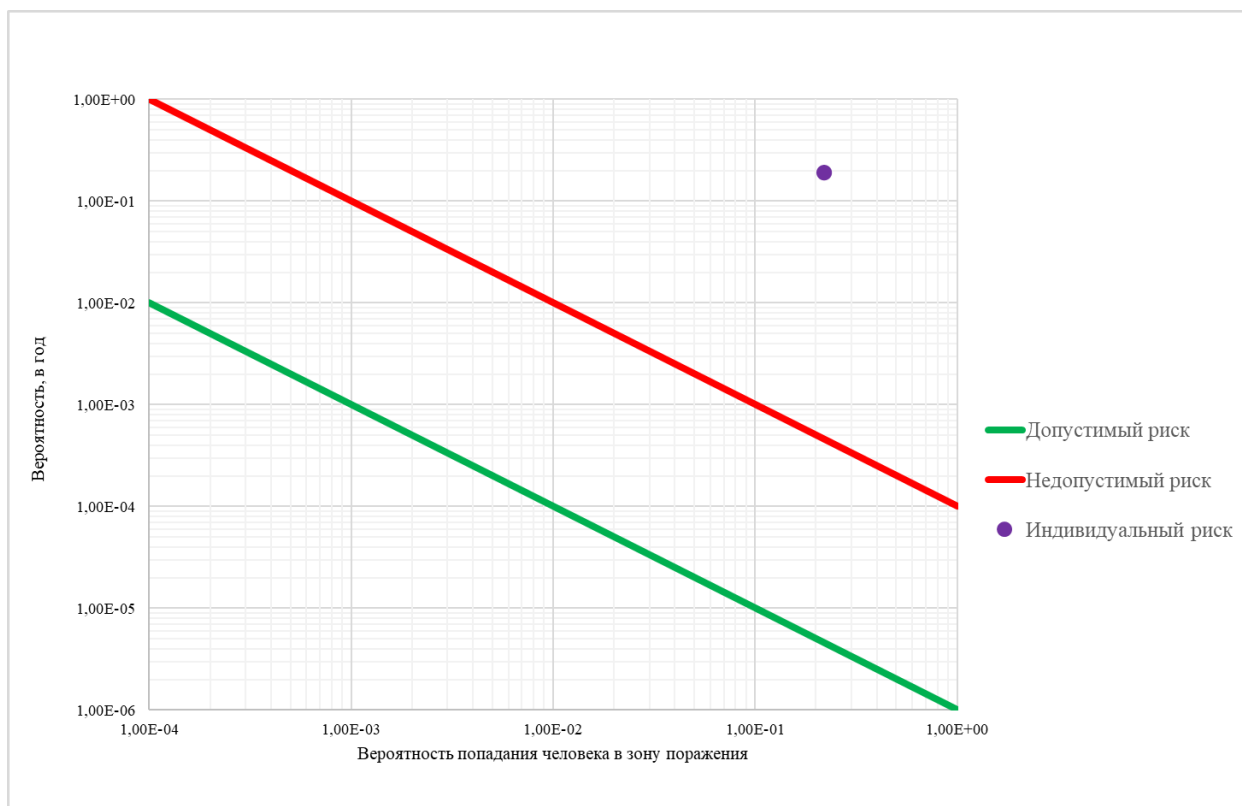


Рисунок 13 – Графическое отображение индивидуального риска, создаваемого оборудованием без систем защиты, для компрессора природного газа

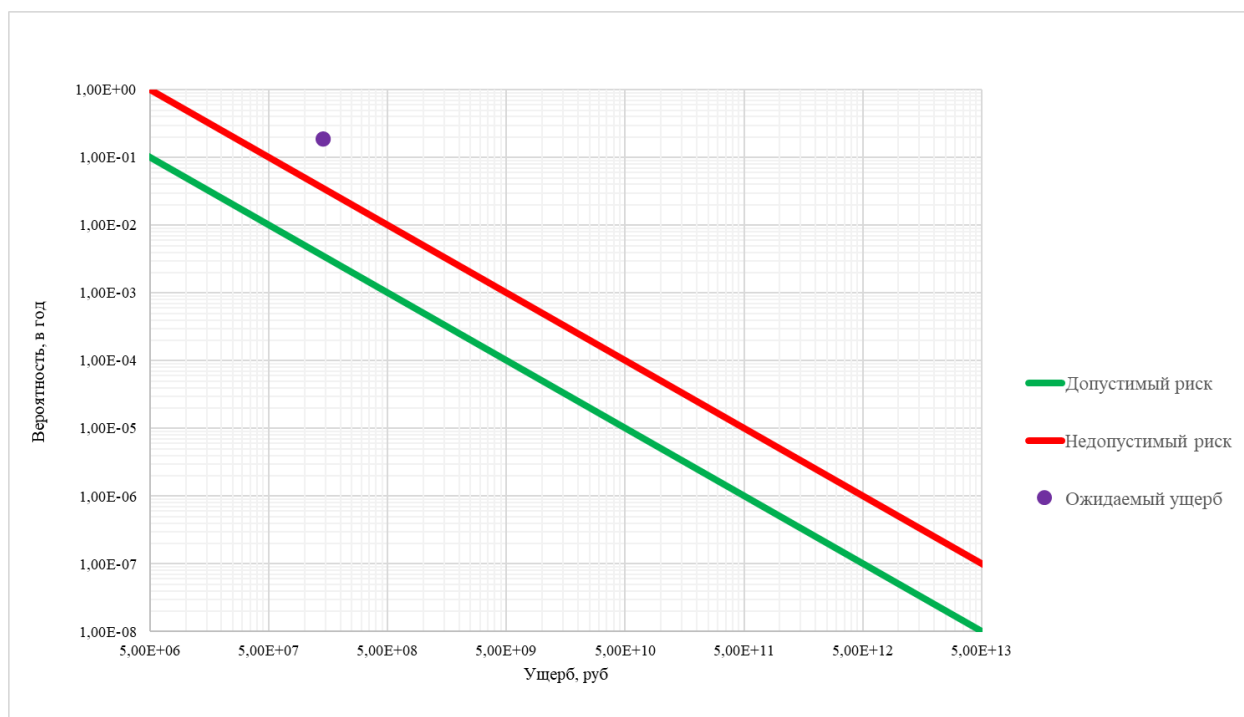


Рисунок 14 – Графическое отображение экономического риска, создаваемого оборудованием без систем защиты, для компрессора природного газа

Как видно по графикам, представленным на рисунках 13, 14: индивидуальный и экономический риски превышают абсолютно недопустимое

значение.

Определяя ИЭЭ начнем влиять управлять рисками, пытаюсь прийти к приемлемым значениям. Процесс внедрения контуров защиты, а также изменения ожидаемого ущерба и затрат на безопасность представлены на рисунке 15. Всего потребовалось провести 27 итераций для внедрения всех систем защит.

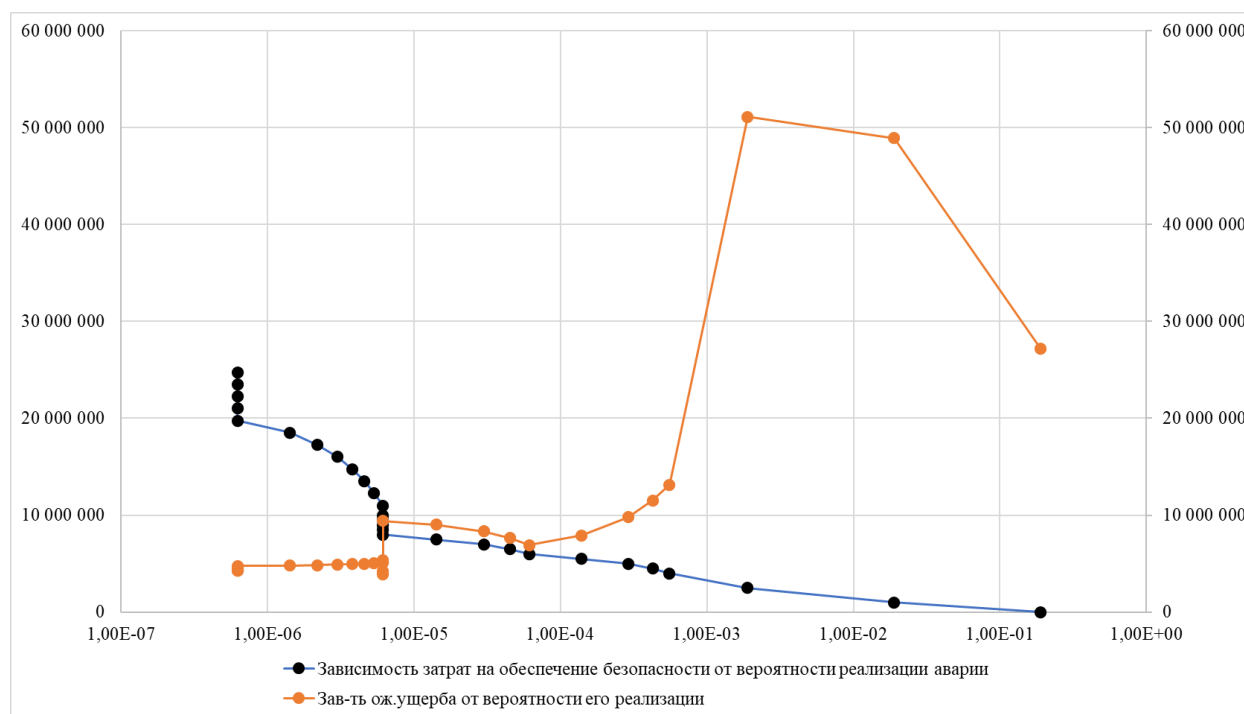


Рисунок 15 – Графическое отображение процесса принятия решений для компрессора природного газа

Рост и падение графика ожидаемого ущерба объясняются внедрением контуров ПАЗ, которые могут как предотвратить дальнейшее развитие аварии, так и отказать, не остановив развитие аварийной ситуации. Вероятность срабатывания контура ПАЗ близка к 1, а случаи, когда затраты на ремонт оборудования превышают затраты на его полную замену не редки для промышленности. Поэтому, внедряя контур ПАЗ мы снижаем вероятность аварии, но не всегда снижаем ожидаемый ущерб от аварии.

На рисунке 16 показано изменение экономического риска относительно допустимого и недопустимого уровней по мере добавления систем защиты. А на рисунке 17 – на снижение индивидуального риска.

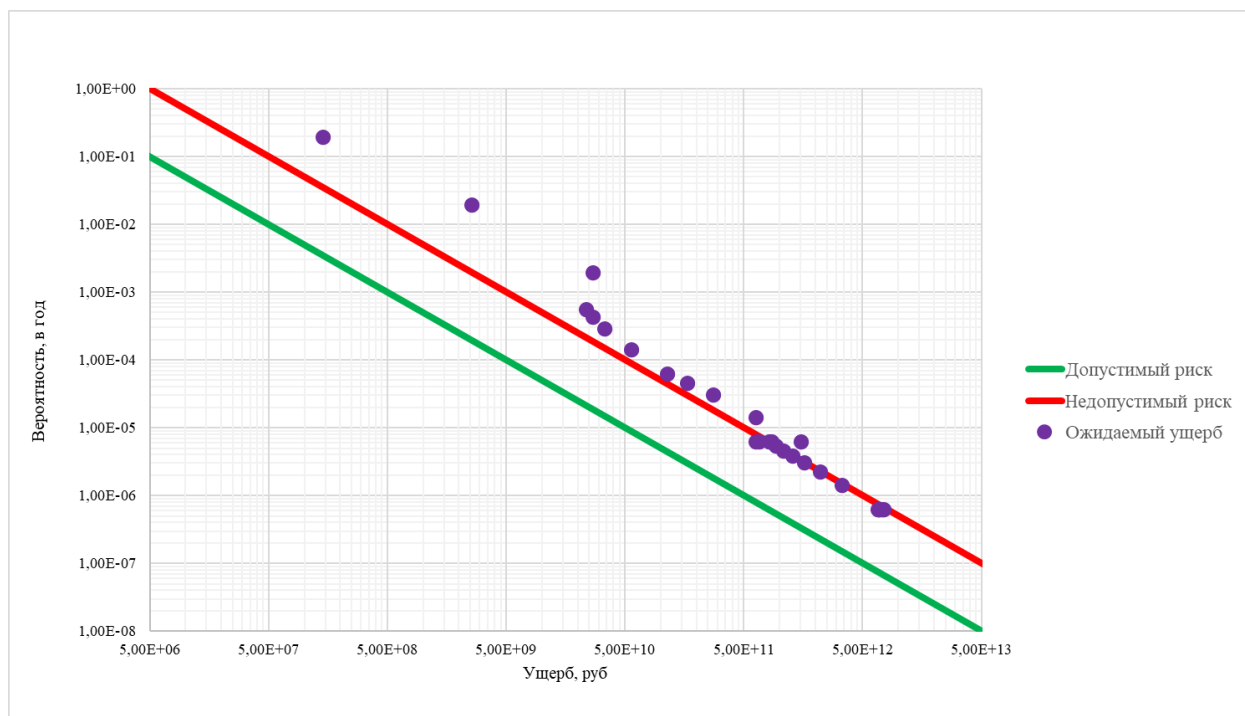


Рисунок 16 – Графическое отображение изменения экономического риска для компрессора природного газа в ходе принятия решений

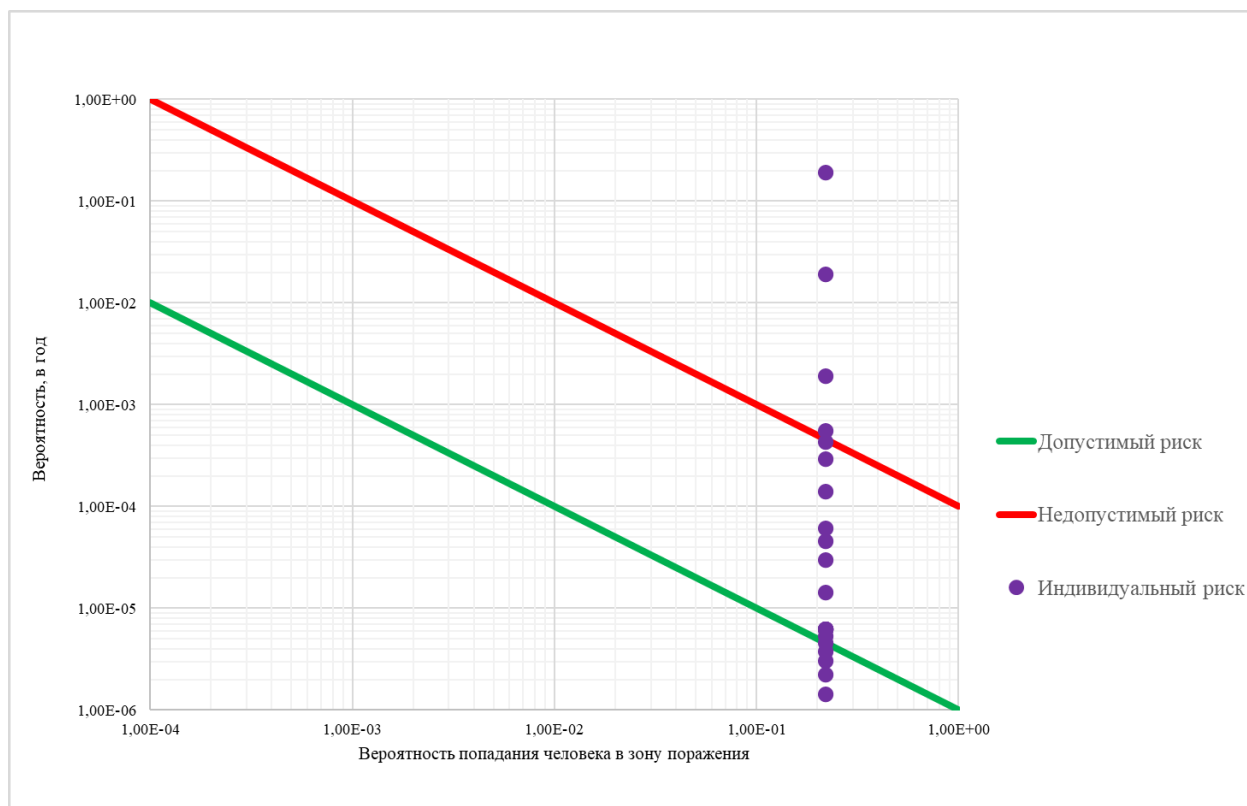


Рисунок 17 – Графическое отображение изменения индивидуального риска для компрессора природного газа в ходе принятия решений

На 20 итерации достигается приемлемое значение риска на уровне $8,33E-07$ в год. При этом, ожидаемый ущерб составил $4,94E+06$ руб., а затраты на

безопасность - 14 750 000 руб.

На 20 итерации, добавление новых контуров ПАЗ приводит к тому, что затраты на безопасность начинают превышать ожидаемый ущерб от аварии. В то же время, на рисунке 18 показано, что в точке, где достигается допустимое значение индивидуального риска, достигается и область принятия решений по экономическому риску.

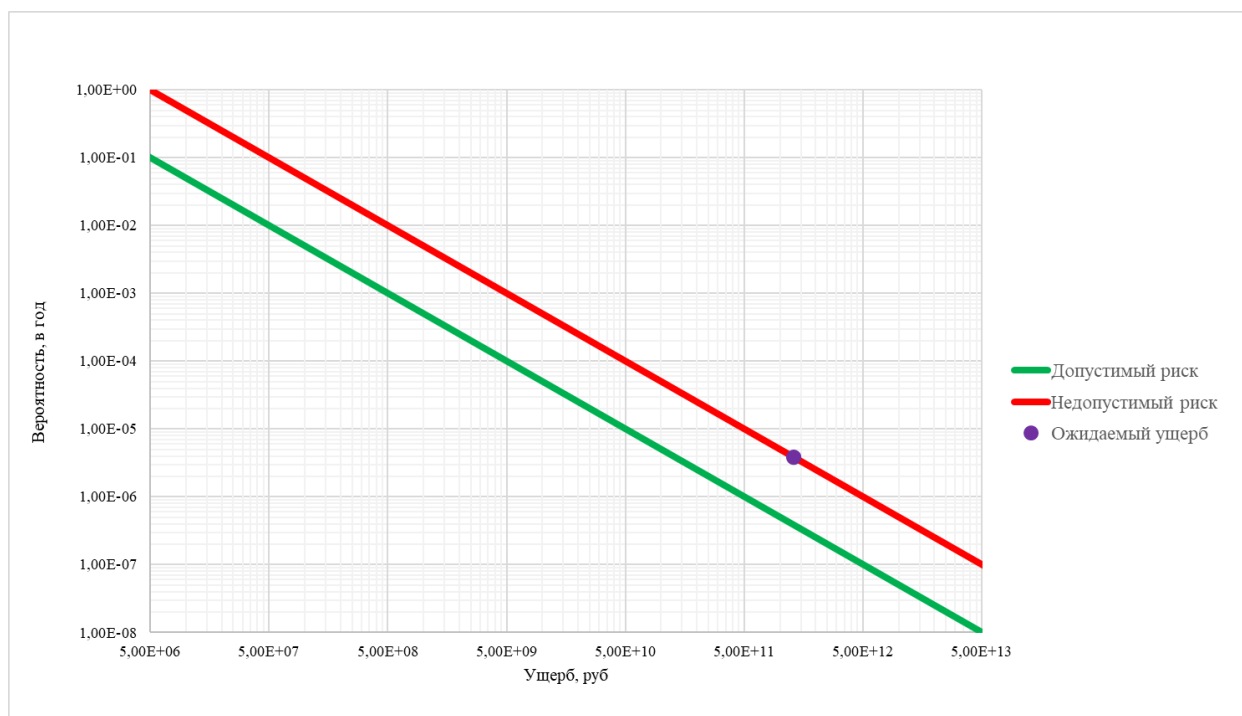


Рисунок 18 – Графическое отображение экономического риска, после принятия решений, для компрессора природного газа

Совместно с рабочей группой, проводившей исследования HAZOP и SIL принято решение остаться в зоне принятия риска по экономическому ущербу, достигая при этом зоны допустимого индивидуального риска на уровне 8,33E-07 в год.

3.6 Выводы

Проведенный HAZOP-анализ двухступенчатого центробежного компрессора природного газа выявил ряд критических опасностей, среди которых наиболее значимой является загазованность помещения из-за нарушения герметичности сухих газовых уплотнений, что может привести к взрыву и гибели персонала. Помимо этого, были идентифицированы 22 сценария, способные вызвать

серьезные экономические потери из-за простоя или повреждения оборудования.

Установленные критерии рисков показали, что допустимый индивидуальный риск для персонала не должен превышать 10^{-6} в год (нижняя граница, соответствующая принципу ALARP). Для экономического риска верхний предел был определен как 5×10^6 рублей/год, а абсолютно допустимый уровень - 5×10^5 рублей/год.

Анализ деревьев отказов подтвердил, что без систем защиты индивидуальный и экономический риски значительно превышают допустимые значения. На 20-й итерации принятия решений удалось достичь индивидуального риска $8,33 \times 10^{-7}$ в год при ожидаемом ущербе 4,94 млн. рублей и затратах на безопасность 14 750 000 рублей.

Оптимизация затрат показала, что дальнейшее увеличение числа защитных систем нецелесообразно, так как затраты начинают превышать потенциальный ущерб. Принятое решение остановиться на достигнутом уровне риска обеспечивает баланс между безопасностью персонала и экономической эффективностью.

Таким образом, проведенные исследования и внедренные меры на основе ИЭЭ позволили минимизировать риски, обеспечив безопасную эксплуатацию компрессора, а также продемонстрировали важность взвешенного подхода к выбору защитных мер, чтобы избежать избыточных затрат. Результаты работы представлены в [97].

ГЛАВА 4. ОГРАНИЧЕНИЯ МЕТОДА

Применение комплексного подхода, включающего методы HAZOP, FTA/ETA, принцип ALARP и поиск комбинации систем защит на основе индекса экономической эффективности, позволяет системно оценивать и управлять рисками на опасных производственных объектах. Однако, несмотря на очевидные преимущества, данный методологический комплекс имеет ряд ограничений, которые необходимо учитывать при его практической реализации. Ниже рассмотрены основные ограничения, выявленные как в теоретической, так и в практической части исследования.

1. Зависимость от квалификации и исходных данных

Анализ HAZOP опирается на коллективное обсуждение и опыт участников, поэтому результаты зависят от полноты исходной информации и уровня компетентности команды. Недостаточная проработка технологических схем или недостаток опыта у специалистов может привести к пропуску критически важных сценариев. В проведённом исследовании на установке гидроочистки дизельного топлива основное внимание уделялось реакторному блоку и компрессорной части, однако возможность упущенных редких событий сохраняется. Для снижения риска применялись стандартизированные процедуры (ГОСТ Р 27.012-2019), что частично компенсирует влияние человеческого фактора.

2. Фрагментарность причинно-следственного анализа

Метод HAZOP рассматривает параметры процесса по отдельности, что может приводить к разрыву причинно-следственных связей и игнорированию каскадных аварийных сценариев. Для компенсации этого ограничения используется переход к построению деревьев отказов, где связи между событиями формализуются. На практике данный недостаток частично устранялся с помощью программного комплекса RizEx-3, автоматически синхронизирующего результаты HAZOP с моделями FTA/ETA.

3. Ресурсоёмкость и сложность построения моделей

HAZOP и FTA требуют значительных временных и трудовых затрат,

особенно при анализе крупного технологического блока. При этом дерево отказов для сложной установки может превратиться в громоздкую структуру, трудно интерпретируемую без специализированного ПО. В практическом исследовании для снижения трудоёмкости использовались автоматизированные модули RizEx-3, однако зависимость от корректности исходных данных остаётся ключевым ограничением.

4. Ограниченность статистической базы

Количественная часть анализа (FTA) опирается на данные о вероятности отказов оборудования и ошибках персонала. В реальности статистика зачастую усреднённая и не отражает специфики конкретного объекта, что вносит погрешности в итоговые значения риска. В практической части расчёты проводились на основе нормативных справочных значений, что позволило получить приближённые результаты, но оставило неопределённость в реальных показателях.

5. Неопределённость оценок вероятностей

Даже при корректных данных методы FTA и ETA дают погрешность в пределах одного-двух порядков, что напрямую влияет на положение границ допустимого риска и зону ALARP. В исследовании это учитывалось при установлении доверительных интервалов, однако сама по себе неопределённость остаётся неизбежной.

6. Ограничения оптимизационного критерия (ИЭЭ)

Индекс экономической эффективности фиксирует вклад системы защиты в снижение риска при учёте её стоимости. Однако методика выбора оптимальной комбинации чувствительна к порядку итераций: после установки одного барьера значения ИЭЭ для остальных изменяются, что может привести к попаданию в локальный оптимум. В практическом расчёте это проявилось в смене «лидера» среди защитных контуров при изменении их стоимости. Для минимизации риска искажения требуются повторные пересчёты на каждом этапе оптимизации.

7. Ограниченность интеграции экономического фактора

Включение в анализ критерия «допустимого экономического ущерба»

позволяет учитывать финансовую устойчивость предприятия, однако вводные данные (порог банкротства, вероятности кризисов) носят субъективный характер. В исследовании использовалась гипотеза о банкротстве предприятия при убытках свыше 250 млн руб. в год, что определяет рамки оптимизации, но не исключает изменчивости этого порога при иных вводных.

8. Ограниченная переносимость результатов

Сформированные границы ALARP и оптимальные комбинации систем защит справедливы только для конкретного объекта, выбранных исходных данных и используемых статистических показателей. При переносе метода на другие предприятия результаты требуют полной адаптации и пересчёта.

Таким образом, предлагаемый подход представляет собой мощный инструмент идентификации и снижения рисков, однако его использование должно сопровождаться учётом перечисленных ограничений. Для повышения достоверности результатов рекомендуется комбинировать методы, применять актуальные данные отказов и регулярно проводить пересмотр оптимизационных решений с учётом новых вводных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Актуальность выполненного исследования обусловлена тем, что при декларируемом приоритете безопасности на практике преобладают формальные, жёстко заданные решения, ограничивающие возможность гибкого и обоснованного выбора мер защиты. Для опасных производственных объектов нефтехимической, химической, нефтегазовой и топливно-энергетической отраслей это приводит к двум типовым проблемам: либо реализуются избыточные меры с ростом затрат, либо сохраняются недопустимые уровни риска. В этих условиях требуется развитие риск-ориентированных подходов, обеспечивающих сопоставление вариантов защитных решений по их влиянию на безопасность и экономику предприятия.

Целью работы являлось обеспечение пожарной, промышленной и экономической безопасности ОПО с учётом рентабельности затрат на меры защиты, соответствующих ожидаемому уровню риска. Для достижения цели решён комплекс задач, включающий анализ нормативно-методической базы, формирование критериев приемлемости риска и процедур принятия решений в логике ALARP, разработку подходов к количественной оценке риска и технико-экономическому обоснованию защитных мер, а также апробацию предложенных решений на примерах реальных объектов.

В ходе исследования получены следующие основные результаты:

1. Выполнен анализ отечественных и зарубежных нормативно-методических подходов к риск-ориентированному обеспечению пожарной и промышленной безопасности ОПО и выявлены проблемные аспекты их практического применения: субъективность трактовки «разумной достижимости» в рамках ALARP, а также разрыв между формальным выполнением требований (включая назначение SIL) и реальной спецификой объекта и сценариев возможных аварий.

2. Сформированы методические подходы к заданию критериев приемлемости риска и принятию решений при выборе мер защиты. В практической

реализации критерии допустимости задавались через сопоставление с фоновыми рисками и использованием доверительных интервалов, что позволило учитывать неизбежную неопределённость вероятностных оценок при FTA и корректно задавать область решений в зоне ALARP.

3. Разработан и применён подход к количественной оценке риска на ОПО на основе интеграции методов идентификации опасностей и вероятностного моделирования. В качестве базовой связки приняты HAZOP-анализ для системной идентификации отклонений и последствий и построение деревьев отказов для формализации причинно-следственных связей и расчёта вероятностей аварий с учётом отказов оборудования и ошибок персонала. Для автоматизации построения и обработки моделей использован программный комплекс «RizEx-3».

4. Разработан подход к технико-экономическому обоснованию мер защиты и выбору рациональных конфигураций систем безопасности на основе количественного сопоставления эффекта снижения риска и стоимости защитных мер. Введён показатель экономической эффективности защитных мер (ИЭЭ) и применён итерационный порядок формирования набора барьеров с пересчётом риска и эффективности на каждом шаге до достижения заданного допустимого уровня риска. Такой порядок обеспечивает прозрачность выбора и позволяет аргументированно обосновывать достаточность конкретной конфигурации системы защиты.

5. Предложен и обоснован порядок дифференцированного и совместного применения методов анализа опасностей и количественной оценки риска на различных стадиях жизненного цикла ОПО с учётом ограничений по данным и ресурсам анализа, что повышает воспроизводимость результатов и снижает риск пропуска критических сценариев при ограниченной глубине исходного анализа.

Предложенная методология апробирована на двух объектах: участке установки гидроочистки дизельных топлив (реакторный блок) и установке двухступенчатого центробежного компрессора природного газа. Для обоих объектов проведены HAZOP-сессии с участием мультидисциплинарной группы, построены FTA-модели критических сценариев и выполнен выбор рационального

набора защитных контуров.

По участку гидроочистки показано, что при исходной (без учёта мер защиты) конфигурации индивидуальный и экономический риски превышают недопустимые значения, а применение ИЭЭ-ориентированного выбора и уточнение требований к ключевым защитным функциям позволяет обеспечить приемлемый уровень индивидуального риска - $5,28 \times 10^{-7}$ 1/год при затратах на безопасность 25,2 млн руб. и ожидаемом ущербе 1,6 млн руб./год. При этом обоснован отказ от части ранее предусмотренных проектом затрат, что привело к сокращению стоимости проектных решений примерно на 21 млн руб. при сохранении требуемого уровня безопасности.

Для компрессора природного газа показано, что без систем защиты индивидуальный и экономический риски также находятся выше недопустимых уровней. ИЭЭ-ориентированная процедура выбора защитных контуров позволила к 20-й итерации достигнуть индивидуального риска $8,33 \times 10^{-7}$ 1/год при ожидаемом ущербе 4,94 млн руб. и затратах на безопасность 14,75 млн руб. Установлено, что дальнейшее наращивание систем защит приводит к превышению затрат над ожидаемым ущербом при уже достигнутой приемлемости по индивидуальному риску; совместно с рабочей группой принято решение остановиться на рациональной конфигурации в области принятия решений по экономическому риску при обеспечении допустимого индивидуального риска.

Практическая значимость работы состоит в том, что предложенный подход может быть встроен в действующие на ОПО процедуры риск-анализа без нарушения существующих регламентов и использоваться проектными организациями и службами промышленной безопасности для обоснования состава и достаточности систем защиты при ограниченных ресурсах. Достоверность результатов подтверждается применением стандартизированных процедур HAZOP, использованием вероятностных методов (FTA), статистической обработки данных с доверительными интервалами, а также апробацией в рамках НИР, зарегистрированным ПО для ЭВМ «Модуль обработки экспертных оценок для анализа уязвимостей производственно-технологических процессов»

(Приложение 6) и наличием акта внедрения (Приложение 7). Основные положения отражены в публикациях и докладывались на профильных конференциях.

При этом установлено, что методологический комплекс имеет ограничения, связанные с качеством исходных данных и статистики отказов, зависимостью результатов HAZOP от состава и квалификации рабочей группы, неопределённостью вероятностных оценок и чувствительностью итерационного выбора к изменению стоимости/надёжности отдельных контуров. Для повышения устойчивости решений рекомендуется регулярная актуализация данных отказов, анализ чувствительности и периодический пересмотр рациональной конфигурации мер защиты при изменении технологических режимов и фактической надёжности барьеров.

Таким образом, поставленная цель достигнута: разработаны и апробированы методические и расчётные подходы, позволяющие обосновывать рациональные конфигурации комплексных систем безопасности ОПО с достижением приемлемых уровней риска и с учётом экономической целесообразности затрат, обеспечивая прозрачность и воспроизводимость принятия решений в логике риск-ориентированного управления.

Метод в дальнейшем может быть использован при прогнозировании развития аварий и для перехода с планового ремонта по паспортным срокам оборудования на ремонт по состоянию (фактическому износу) элементов оборудования, рассмотренному в [87].

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ICI – Imperial Chemical Industries.

HAZOP – hazard and operability analysis (пер.: анализ опасности и работоспособности).

FTA – failure tree analysis (пер.: метод анализа «Дерево отказов»).

ALARP – As Low As Reasonably Practicable (пер.: настолько низко, насколько это разумно возможно).

SIL – Safety Integrity Level (пер.: уровень полноты безопасности).

ФЗ – федеральный закон.

ОПО – опасный производственный объект.

ASME – американское общество инженеров-механиков.

BPVC – кодекс по котлам и сосудам под давлением.

DIN – немецкий институт по стандартизации.

NFPA – национальная ассоциация противопожарной защиты США.

FMEA – Failure Mode and Effects Analysis (пер.: анализ видов и последствий отказов).

FMECA – Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (пер.: анализ видов, последствий и критичности отказов).

PRA – вероятностный анализ безопасности.

OSHA – управление по охране труда США.

SFPE – общество инженеров противопожарной защиты.

CBA – Cost-Benefit Analysis (пер.: анализ затрат выгод).

ETA – event tree analysis (пер.: анализ методом «Дерево событий»).

HAZID – Hazard Identification (пер.: определение опасности).

ПАЗ – противоаварийная автоматическая защита.

ПО – программное обеспечение.

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и аппаратура.

АСУ – автоматических систем управления.

САРЕХ – капитальные затраты.

ОРЕХ – эксплуатационные расходы.

ROI – окупаемость инвестиций.

CAFTA – Computer-Aided Fault Tree Analysis.

RBI – Risk-based inspection (пер.: инспекция на основе риска).

МАИ – метод анализа иерархий.

МСИ – метод смещенного идеала.

ИЭЭ – индекс экономической эффективности.

ВСГ – водородсодержащий газ.

SIF – приборные контуры защиты.

УО – управляемое оборудование.

ЛВЖ – легковоспламеняющаяся жидкость.

ЦНД – цилиндр низкого давления.

ЦВД – цилиндр высокого давления.

СГУ – система газовых уплотнений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Chernobyl accident: updating of INSAG-1. INSAG-7 / International Nuclear Safety Advisory Group. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 1992. – P. 136 – Safety series № 75-INSAG-7. – ISBN 92-0-104692-8.
2. Health effects of the toxic gas leak from Union Carbide methyl isocyanate plant in Bhopal : technical report on Pathology and Toxicology (1984–1992) / Bhopal Gas Disaster Research Centre, Medico Legal Institute, Mahatma Gandhi Medical College, Bhopal (MP) ; Institute of Pathology (Indian Council of Medical Research), New Delhi. – New Delhi : Indian Council of Medical Research, 2010. – P.142.
3. The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster. Vol. 1&2 / The Hon Lord Cullen. – London : HMSO, 1990. – P. 500. – ISBN 0-10-113102.
4. Buncefield: Why did it happen? The underlying causes of the explosion and fire at the Buncefield oil storage depot, Hemel Hempstead, Hertfordshire on 11 December 2005 / the Competent Authority (Health and Safety Executive and Environment Agency). – Bootle : Health and Safety Executive, 2011. – P. 36.
5. Акт технического расследования причин аварии, произошедшей 17 августа 2009 года в филиале Открытого акционерного общества «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П. С. Непорожного» / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – 2009. – 141 с.
6. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением : ПБ 10-115-96 : с изменениями и дополнениями : утв. Госгортехнадзором России 18.04.95 : введ. в действие с 01.01.96. – М. : ПИО ОБТ, 2002. – 278 с. – ISBN 5-88902-129-X.
7. NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2022. – P. 612.

8. NFPA 30: Flammable and Combustible Liquids Code. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2024. – P. 168.
9. NFPA 101. Life Safety Code - Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2024. – P. 593.
10. MIL-STD-1629A. Procedures for performing a failure mode, effects, and criticality analysis – Washington, DC: Department of Defense, 24 November 1980. – P. 54.
11. Vesely W. E. Fault Tree Handbook / W. E. Vesely, F. F. Goldberg, N. H. Roberts, D. F. Haasl ; U.S. Nuclear Regulatory Commission – Washington, D.C. : U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981 – P. 209.
12. Lawley H. G. Operability Studies and Hazard Analysis // Chemical Engineering Progress – 1974. – Vol. 70, №. 4. – P. 45-56
13. Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants / U.S. Nuclear Regulatory Commission; prepared under the direction of Professor Norman C. Rasmussen. – Washington, D.C. : U.S. Nuclear Regulatory Commission, October 1975. – P. 198.
14. 29 CFR 1910.119. Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals : Final Rule. - Washington, D.C. : Occupational Safety and Health Administration, 1992. – P. 144.
15. Directive 2012/18/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC. – Official Journal L 197, 24.7.2012 – P. 1-37.
16. IEC 61508: Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety Related Systems / International Electrotechnical Commission. – Geneva : IEC, 2010. – P. 127.
17. IEC 61511-1:2016. Functional Safety - Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector. Part 1: Framework, Definitions, System, Hardware and Application Programming Requirements / International Electrotechnical

- Commission. – Geneva : IEC, 2016. – P. 175.
18. ISO 31000:2018. Risk management – Guidelines – Geneva : International Organization for Standardization, 2018. – P. 24.
 19. National Fire Protection Association, Society of Fire Protection Engineers. SFPE Engineering Guide to Performance-based Fire Protection / National Fire Protection Association, Society of Fire Protection Engineers. – 2nd ed., illus. – Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2007. – P. 207. – ISBN 0877657890, 9780877657897.
 20. ISO 23932 1:2018. Fire Safety Engineering. General Principles. Part 1: General / International Organization for Standardization. – Geneva : ISO, 2018. – P. 26.
 21. Российская Федерация. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» 116-ФЗ : принят Государственной Думой 20 июня 1997 года : одобрен Советом Федерации 21 июля 1997 года – ред. от 08.08.2024 – М. : 1997. – 38 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
 22. Российская Федерация. Федеральный закон «О пожарной безопасности» 69-ФЗ : принят Государственной Думой 18 ноября 1994 года : одобрен Советом Федерации 21 декабря 1994 года – ред. от 29.07.2017 – М. : 1994. – 33 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
 23. Российская Федерация. Приказ МВД России «О введении в действие Правил пожарной безопасности в Российской Федерации» : от 14 декабря 1993 г. № 536 – с изменениями и дополнениями от 25 июля 1995 г. № 282, от 10 декабря 1997 г. № 814 и от 20 октября 1999 г. № 817 – М. : 1993. – 25 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
 24. Российская Федерация. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» 123-ФЗ : принят

- Государственной Думой 4 июля 2008 года : одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 года – ред. от 30.04.2021 – М. : 2021. – 114 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
25. Российская Федерация. Постановление Правительства Российской Федерации «Правила проведения расчетов по оценке пожарного риск» : от 31 марта 2009 г. № 272 – М. : 2009. – 2 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
26. Российская Федерация. Приказ Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» : от 10 июля 2009 г. № 404 – с изменениями и дополнениями от 14.12.2010 N 649 – М. : 2009. – 56 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
27. Российская Федерация. Приказ Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» : от 26 июня 2024 г. № 533 – зарегистрирован в Минюсте России 02 сентября 2024 г. № 79360 – М. : 2024. – 86 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
28. Андреев А.А. Основные подходы к оценке пожарного риска производственных объектов / А.А. Андреев, Д.В. Русских // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – Т. 1, № 9. – С. 20–23.
29. Российская Федерация. Постановление Правительства Российской Федерации «О противопожарном режиме в Российской Федерации» :

- от 16 сентября 2020 г. № 1479 – М. : 2020. – 20 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
30. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М. : Стандартинформ, 2014. – 65 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
 31. Kletz T. Inherently Safer Design: The Growth of an Idea // Process Safety Progress. – 2004. – Vol. 15, № 1. – P. 5-8. – DOI: 10.1002/prs.680150105.
 32. Hendershot D. Inherently Safer Design: The Fundamentals // Chemical Engineering Progress. – 2012. – Vol. 108. – P. 40-42.
 33. Mocellin P. Experimental methods in chemical engineering: Hazard and operability analysis-HAZOP/ Mocellin P., De Tommaso J., Vianello C., Maschio G., Saulnier-Bellemare T., Virla L. D., Patience G. S. // Canadian Journal of Chemical Engineering. – 2022. – Vol. 100. – P. 3450-3469. – DOI: 10.1002/cjce.24520.
 34. Laurent A., A critical perspective on the implementation of the EU Seveso Directives in France, Germany, Italy and Spain / A. Laurent, A. Pey, P. Gurtel, B. Fabiano // Process Safety and Environmental Protection. – 2020 – Vol. 147 – P. 47-74.
 35. ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем / Госстандарт России. – М. : Издательство стандартов, 2002. – 28 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
 36. Якуш С. Е. Анализ пожарных рисков. Часть II: Проблемы применения / С. Е. Якуш, Р. К. Эсманский // Проблемы анализа риска. – 2009. – Т. 6, № 4. – С. 26-46.
 37. M. S. Ab Rahim. Risk assessment methods for process safety, process

- security and resilience in the chemical process industry: A thorough literature review / M. S. Ab Rahim, G. Reniers, M. Yang, S. Bajpai // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. – 2024. – Vol. 88. – DOI: 10.1016/j.jlp.2024.105274.
38. Федосов А.В. Анализ опасностей, оценка риска аварий на опасных производственных объектах и рекомендации по выбору методов анализа риска / А.Ф. Федосов, Г.Р. Маннанова, Ю.А. Шипилова // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». – 2016. – № 3. – С. 322–336.
39. ГОСТ 12.1.010-76. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования / Госстандарт СССР. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 36 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
40. ОПВ 88. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств / Госгортехнадзор СССР. – М. : Metallurgiya, 1988. – 32 с. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294853/4294853882.htm> (дата обращения: 30.03.2023).
41. Portfolio optimization of safety measures for reducing risks in nuclear systems / A. Mancuso, M. Compare, A. Salo, E. Zio // *Reliability Engineering and System Safety*. – 2017. – Vol. 167. – P. 20-29. – DOI: 10.1016/j.ress.2017.05.005.
42. Konak A. Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2006. – Vol. 91, N 9. – P. 992-1007. – DOI: 10.1016/j.ress.2005.11.018.
43. Ковальский Ф.С. Проблемы оптимизации затрат на снижение риска аварий / Ф.С. Ковальский, Э.А. Грановский, Н.И. Акинин // *Безопасность труда в промышленности*. – 2023. – № 7. – С. 28-36. – DOI: 10.24000/0409-2961-2023-7-28-36.

44. Бакиров И. К. Анализ методики определения расчетных величин пожарного риска производственных объектов / И. К. Бакиров, А. Р. Загидуллина ; Уфимский государственный нефтяной технический университет. – 2017. – № 2. – С. 101-108.
45. Харламенков А.С. Оценка вероятности возникновения пожара от электрооборудования для расчёта пожарного риска / А. С. Харламенков // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety – 2018. – Т. 27, № 2-3. – С. 99-101.
46. Жуков И. С. О единых критериях допустимого риска на опасных производственных объектах / И. С. Жуков, М. В. Лисанов // Научно-технический сборник «Вестник газовой науки». – 2022. – № 2 (51). – С. 82-90.
47. Печёркин А. С. О фоновых уровнях аварийных опасностей на опасных производственных объектах / А. С. Печёркин, Н. Л. Разумняк, В. И. Сидоров, А. И. Гражданкин, Е. А. Самусева // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – № 10. – С. 50-56. – DOI: 10.24000/0409-2961-2019-10-50-56.
48. Колесников Е. Ю. Интервальная оценка неопределенности параметров аварийного и пожарного рисков / Е. Ю. Колесников // Проблемы анализа риска. – 2018. – Т. 15, № 6. – С. 74-79 – DOI: 10.32686/1812-5220-2018-15-74-79.
49. Матвеев А. В. Метод оценки достоверности количественного анализа риска на объектах нефтегазовой отрасли / А. В. Матвеев, А. В. Максимов, О. В. Щербаков, А. С. Смирнов // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27, № 1. – С. 35-49. – DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.35-49.
50. Махутов, Н. А. Принцип практической целесообразности при нормировании индивидуального риска / Н. А. Махутов, Д. О. Резников, В. П. Петров // Безопасность в техносфере. – 2012. – № 6. – С. 7-12.
51. Махутов Н. А. Нормирование и управление рисками, связанными с

- эксплуатацией опасных производственных объектов / Махутов Н. А., Резников Д. О., Лисанов, М. В. // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 12. – С. 85-91. – DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-85-91.
52. On the ALARP approach to risk management / R. E. Melchers // Reliability Engineering & System Safety. – 2001. – Vol. 71, № 2. – P. 201-208. – DOI: 10.1016/S0951-8320(00)00096-X.
53. B. J. M. Ale. ALARP and CBA all in the same game / B. J. M. Ale, D. N. D. Hartford, D. Slater // Safety Science. – 2015. – Vol. 76. – P. 90-100. – DOI: 10.1016/j.ssci.2015.02.012.
54. Купцов А. И. Методика расчета предельно допустимого выброса опасного газа со свечи рассеивания / А. И. Купцов, Ф. М. Гимранов // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 7. – С. 98-100.
55. ГОСТ Р 27.012-2019. Надежность в технике. Анализ опасности и работоспособности (HAZOP) / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М. : Стандартинформ, 2019. – 58 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
56. Шевцова Д.В. К вопросу о применении метода HAZOP при оценке риска аварий на ОПО по получению водорода / Д.В. Шевцова, Ф.С. Ковальский, Н.И. Акинин // V Международная научно-практическая конференция молодых ученых по проблемам техносферной безопасности: материалы конференции, Москва, 17-18 мая 2022 года. – Москва: Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 2022. – С. 21-24.
57. Российская Федерация. Приказ Ростехнадзора «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих

- производств» : от 15 декабря 2020 г. № 533 – М. : 2020. – 128 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
58. J. Dunjo. Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review / J. Dunjo, V. Fthenakis, J. A. Vilchez, J. Arnaldos // *Journal of Hazardous Materials*. – 2010. – Vol. 173, №1-3. – P. 19-32. – DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.08.076.
59. R. Mokhtarname. Toward HAZOP 4.0 Approach for Managing the Complexities of the Hazard and Operability of an Industrial Polymerization Reactor / R. Mokhtarname, A. A. Safavi, L. Urbas, F. Salimi, M. M. Zerafat, N. Harasi // *IFAC PapersOnLine*. – 2020. – Vol. 53, № 2. – P. 13593-13600. – DOI: 10.1016/j.ifacol.2020.12.852.
60. ГОСТ Р МЭК 61508-6-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 6. Руководство по применению ГОСТ Р МЭК 61508-2 и ГОСТ Р МЭК 61508-3 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М. : Стандартинформ, 2014. – 163 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
61. ГОСТ Р 51901.12-2007. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М. : Стандартинформ, 2008. – 40 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
62. AIAG & VDA FMEA Handbook: Failure Mode and Effects Analysis (Reference Manual). – 1st edition. – 2019. – Southfield, MI: Automotive Industry Action Group (AIAG); Verband der Automobilindustrie (VDA).
63. B. J. Seligmann. A blended hazard identification methodology to support process diagnosis / Benjamin J. Seligmann, Erzsébet Németh, Katalin M. Hangos, Ian T. Cameron // *Journal of Loss Prevention in the Process*

- Industries. – 2012. – Vol. 25. – P. 746-759. – DOI: 10.1016/j.jlp.2012.04.012.
64. Korkusuz P, T. Risk Prioritizing with Weighted Failure Mode and Effects Analysis and Fuzzy Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis: An Application Software Service Provider Company in the Defense Industry / T. Korkusuz Polat, I. Pamuk Candan // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14, № 11573. – P. 1-18 – DOI: 10.3390/app142411573.
65. ГОСТ Р ИСО 17776-2010. Менеджмент риска. Руководящие указания по выбору методов и средств идентификации опасностей и оценки риска для установок по добыче нефти и газа из морских месторождений / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М. : Стандартинформ, 2011. – 67 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
66. ГОСТ Р 27.302-2009. Надежность в технике. Анализ дерева неисправностей / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М. : Стандартинформ, 2012. – 27 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
67. ГОСТ Р МЭК 62502-2014. Менеджмент риска. Анализ дерева событий / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М. : Стандартинформ, 2015. – 35 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
68. Rabah B. Optimization of safety instrumented system performance and maintenance costs in Algerian oil and gas facilities / B. Rabah, R. Younes, C. Djeddi, L. Laouar // Process Safety and Environmental Protection. – 2024. – Vol. 182. – P. 371-386. – DOI: 10.1016/j.psep.2023.11.081.
69. Approaches to cost–benefit analysis of new nuclear power projects / International Atomic Energy Agency. – Vienna : International Atomic

Energy Agency, 2024. – 110 p. – ISBN 978-92-0-105324-4.

70. Яковлев В. А. Экономическая целесообразность противопожарных мероприятий / В. А. Яковлев, А. Н. Семенова // Московский экономический журнал. – 2019. – № 11. – С. 748-753. – DOI: 10.24411/2413-046X-2019-10157.
71. Zhang F. Integrated physical safety–cyber security risk assessment based on layers of protection analysis / F. Zhang, J. Yang, J. Li, J. Zhang, J. Li, L. Chen, X. Diao, Q. Wang, Z. Dou // Chemical Engineering Research and Design. – 2024. – Vol. 212. – P. 405-420. – DOI: 10.1016/j.cherd.2024.10.036.
72. Смирнова Е. С. Сценарный подход к оценке рисков для обеспечения экологической безопасности в строительстве / Е. Э. Смирнова, М. Ю. Слесарев, М. А. Мозаффари // Современные проблемы гражданской защиты. – 2024. – № 2 (51). – С. 173-190.
73. Meng H. A method for economic evaluation of predictive maintenance technologies by integrating system dynamics and evolutionary game modelling / H. Meng, X. Liu, J. Xing, E. Zio // Reliability Engineering & System Safety. – 2022. – Vol. 222. – DOI: 10.1016/j.ress.2022.108424.
74. Chu C. Dynamic Fault Tree Generation and Quantitative Analysis of System Reliability for Embedded Systems Based on SysML Models / C. Chu, W. Yang, Y. Chen // Sensors. – 2024. – Vol. 24, № 18. – DOI: 10.3390/s24186021.
75. Грановский Э.А. Об определении требований ко времени отклика систем безопасности / Э.А. Грановский, И.А. Строкина, Ф.С. Ковальский // Безопасность труда в промышленности – 2025. – № 5. – С. 49-55.
76. Стеценко И.А. Определение времени безопасности системы для обеспечения промышленной и пожарной безопасности / И.А. Стеценко, Ф.С. Ковальский, Э.А. Грановский, Н.И. Акинин // VI Международная научно-практическая конференция молодых ученых

- по проблемам техносферной безопасности: материалы конференции, Москва, 25-26 апреля 2024 года. – Москва: Российских химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 2024. – С. 12-15.
77. ГОСТ Р МЭК 61511-3-2018. Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов. Часть 3. Руководство по определению требуемых уровней полноты безопасности / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М. : Стандартинформ, 2018. – 82 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
78. Torres-Echeverría A. Modelling and optimization of proof testing policies for safety instrumented systems / Torres-Echeverría A., Martorell S., Thompson, H. A. // Reliability Engineering & System Safety. – 2009. – Vol.94. – P. 838-854. – DOI: 10.1016/j.ress.2008.09.006.
79. Yasserli S. The ALARP Argument / S. Yasserli // Fire and Blast Information Group – FABIG Newsletter. – 2013. – URL: https://www.researchgate.net/publication/274677545_The_ALARP_Argument (дата обращения: 30.03.2023).
80. Грановский Э. А. Проблемы оценки риска по результатам HAZOP-исследования / Э. А. Грановский // Безопасность труда в промышленности. – 2023. – № 5. – С. 33-40. – DOI: 10.24000/0409-2961-2023-5-33-40.
81. Robinson R. SFAIRP vs ALARP / R. Robinson, G. Francis // CORE 2014: Conference on Railway Excellence (Rail Transport for a Vital Economy), 5-7 May 2014, Adelaide, Australia. – URL: <https://trid.trb.org/View/1332671> (дата обращения 03.03.2023).
82. Health and Safety at Work etc. Act 1974 – 1974. – P. 37. – URL: <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1974/37/enacted> (дата обращения 30.03.2023).
83. Ковальский Ф.С. Применение методов Дельфи и анализа иерархий при

- выборе приоритетного сценария развития аварийной ситуации на объекте защиты / Ф.С. Ковальский, А.С. Мосолов, Ю.В. Прус // Техносферная безопасность. – 2020. – № 3 (28). – С. 12-20.
84. Ковальский Ф.С. Применение методов Дельфи и анализа иерархий при выборе приоритетного сценария развития аварийной ситуации на объекте защиты / Ф.С. Ковальский, А.С. Мосолов // IV Международная научно-практическая конференция молодых ученых по проблемам техносферной безопасности: материалы конференции, Москва, 21-22 апреля 2020 года. – Москва: Российских химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 2020. – С. 42-45.
85. Ковальский Ф.С. Анализ применения методов смещенного идеала и анализа иерархий при категорировании объекта топливно-энергетического комплекса / Ф.С. Ковальский, А.С. Мосолов, Н.И. Акинин // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 3. – С. 15-20.
86. Yuan S. Cost-effective maintenance of safety and security barriers in the chemical process industries via genetic algorithm / Yuan S., Reniers G., Yang M., Bai Y. // Process Safety and Environmental Protection. – 2023. – Vol. 170. – P. 356-371. – DOI: 10.1016/j.psep.2022.12.008.
87. Данилова К.В. К вопросу о возможности прогнозирования пожарных и промышленных рисков / К.В. Данилова, Ф.С. Ковальский, Э.А. Грановский, Н.И. Акинин // Успехи в специальной химии и химической технологии: Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная 90-летию Инженерного химико-технологического факультета РХТУ им. Д.И. Менделеева, 120-летию профессора К.К. Андреева, 130-летию профессора А.С. Бакаева. Материалы конференции. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2025. – С. 326-328.
88. Телюк А. С. Синтез систем противоаварийной защиты для процессов подготовки продукции нефтегазовых скважин : дис. ... канд. техн. наук

: 05.13.06 / А. С. Телюк. – Москва, 2014. – 111 с.

89. Ковальский Ф.С. Снижение риска эксплуатации компрессора природного газа с учетом вероятностно-экономического показателя безопасности контуров защиты / Ф.С. Ковальский, Э.А. Грановский, Н.И. Акинин // Успехи в специальной химии и химической технологии: Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная 90-летию Инженерного химико-технологического факультета РХТУ им. Д.И. Менделеева, 120-летию профессора К.К. Андреева, 130-летию профессора А.С. Бакаева. Материалы конференции. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2025. – С. 321-322.
90. Российская Федерация. Приказ Ростехнадзора «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением» : от 15 декабря 2020 г. № 536 – М. : 2020. – 369 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
91. Российская Федерация. Приказ Ростехнадзора «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности складов нефти и нефтепродуктов» : от 15 декабря 2020 г. № 529 – М. : 2020. – 52 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
92. Лебедева А.М. Об обеспечении пожарной и промышленной безопасности участка установки гидроочистки дизельных топлив / А.М. Лебедева, Ф.С. Ковальский, Н.И. Акинин // Успехи в специальной химии и химической технологии: Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная 90-летию Инженерного химико-технологического факультета РХТУ им. Д.И. Менделеева, 120-летию профессора К.К. Андреева, 130-летию профессора А.С. Бакаева.

Материалы конференции. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2025. – С. 324-325.

93. Федеральная служба государственной статистики. Московский статистический ежегодник 2023 / Управление Федеральной службы государственной статистики по г. Москве и Московской области (Мосстат). – М. : Мосстат, 2023.
94. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Пожары и пожарная безопасность в 2023 году. Статистика пожаров и их последствий / ФГБУ ВНИИПО МЧС России. – Балашиха : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2024. – 112 с.
95. ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 1. Общие требования / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М. : Стандартинформ, 2014. – 58 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
96. Основные социально-экономические характеристики Кемеровской области – Кузбасса (Общая характеристика): 2023 [Электронный ресурс]. – Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Кемеровской области (Кемеровостат). – URL: <https://service.kemerovostat.gks.ru/bgd/EJEGOD/issWWW.exe/Stg/2023/1.%20%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D1%81%D0%BE%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE-%D1%8D%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8%20%D0%BA%D0>

[%B5%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8-%D0%BA%D1%83%D0%B7%D0%B1%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0.htm](#) (дата обращения: 05.05.2025).

97. Ковальский Ф.С. Управление риском установки гидроочистки дизельного топлива с учетом вероятностно-экономического показателя безопасности контуров защиты / Ковальский Ф.С., Мосолов А.С., Акинин Н.И. // Пожарная безопасность. 2025. – № 4 (121). – С. 62-70.
98. Основные социально-экономические характеристики Кемеровской области – Кузбасса (Основные демографические показатели): 2023 [Электронный ресурс] / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Кемеровской области (Кемеровостат). – Режим доступа: <https://service.kemerovostat.gks.ru/bgd/EJEGOD/issWWW.exe/Stg/2023/4.%20%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5.htm> (дата обращения: 05.05.2025).
99. СТО РД Газпром 39-1.10-084-2003. Требования к промышленной безопасности на магистральных и промысловых трубопроводах. – Утверждён приказом ПАО «Газпром» № 84 от 30.10.2003. - Москва, 2003.
100. Российская Федерация. Приказ Ростехнадзора «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы анализа опасности и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» : от 3 ноября 2022 г. № Пр-387 – М. : Ростехнадзор, 2022. – 85 с. – URL: <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
101. Белов П. Г. Моделирование опасных процессов в техносфере / П. Г. Белов. – М. : Издательство Академии гражданской защиты МЧС России, 1999. – 124 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА УЧАСТКА УСТАНОВКИ ГДТ

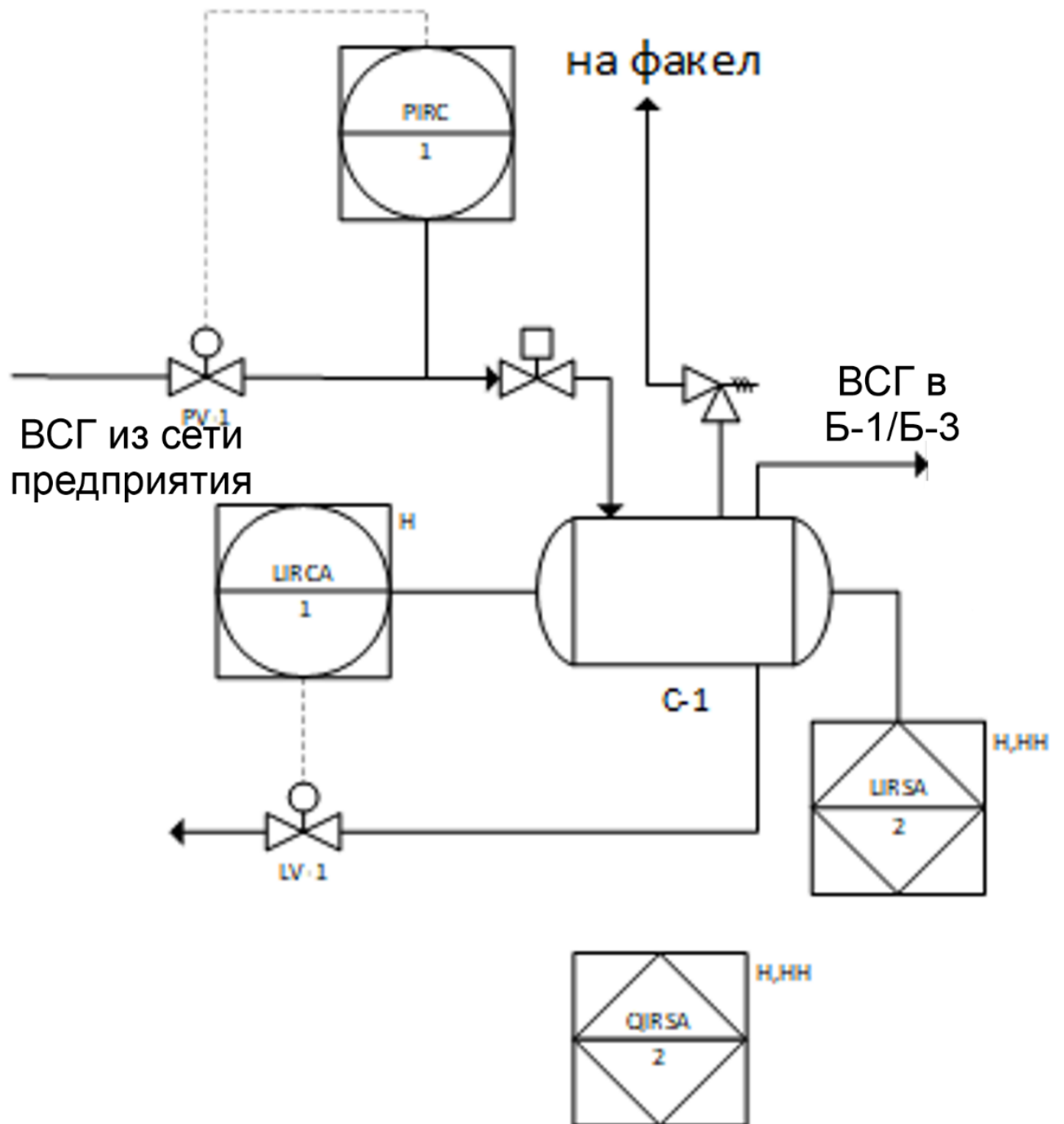


Рисунок 19 – Принципиальная технологическая схема участка установки гидроочистки дизельных топлив, лист 1

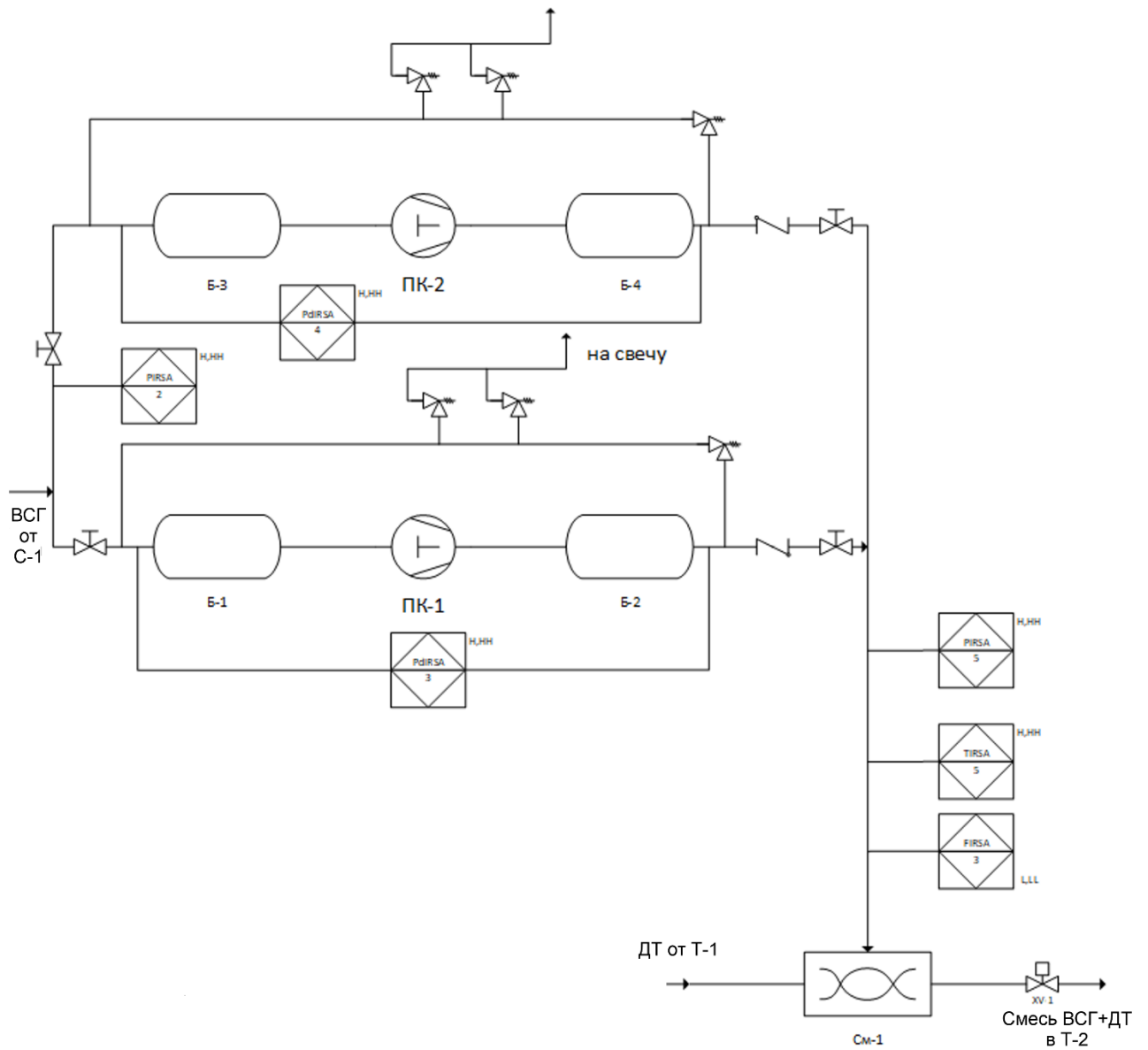


Рисунок 20 – Принципиальная технологическая схема участка установки гидроочистки дизельных топлив, лист 2

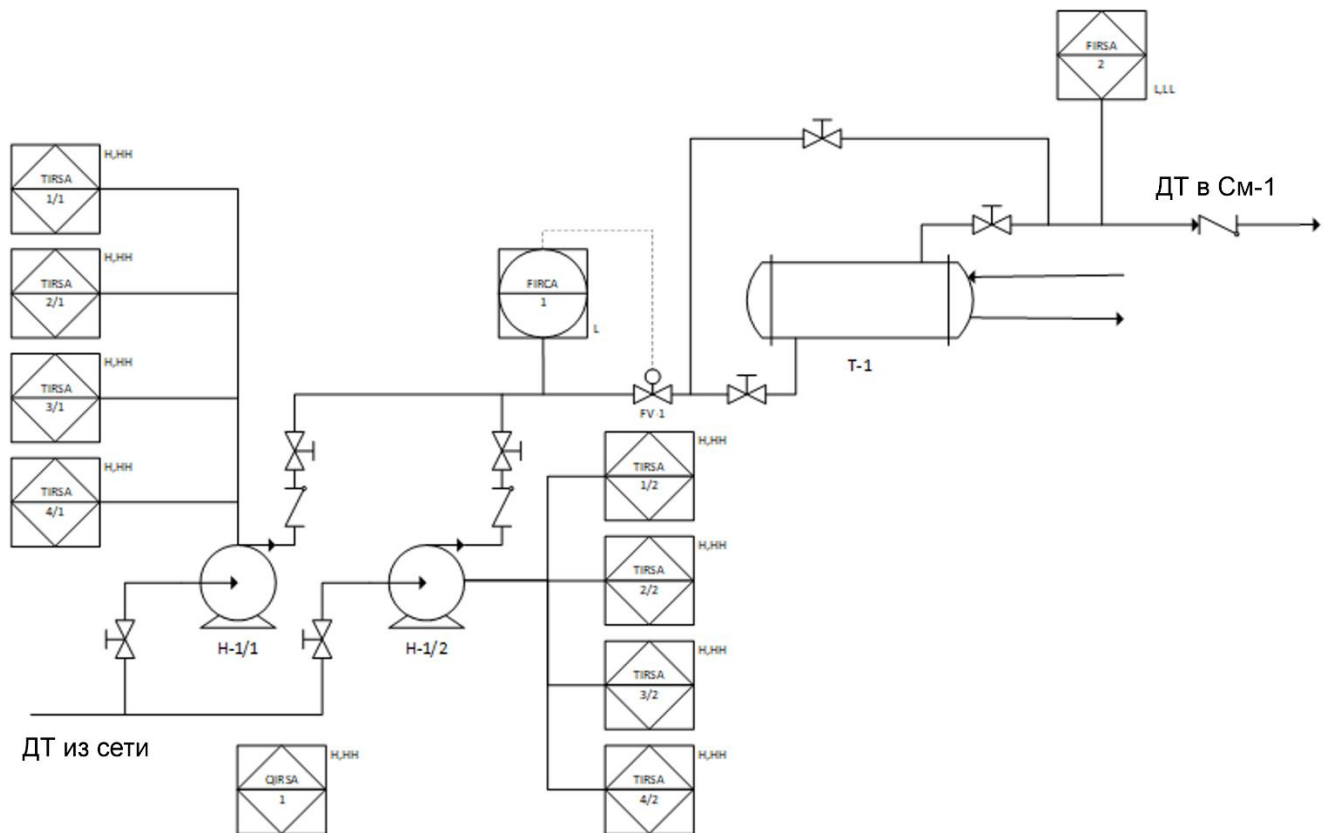


Рисунок 21 – Принципиальная технологическая схема участка установки гидроочистки дизельных топлив, лист 3

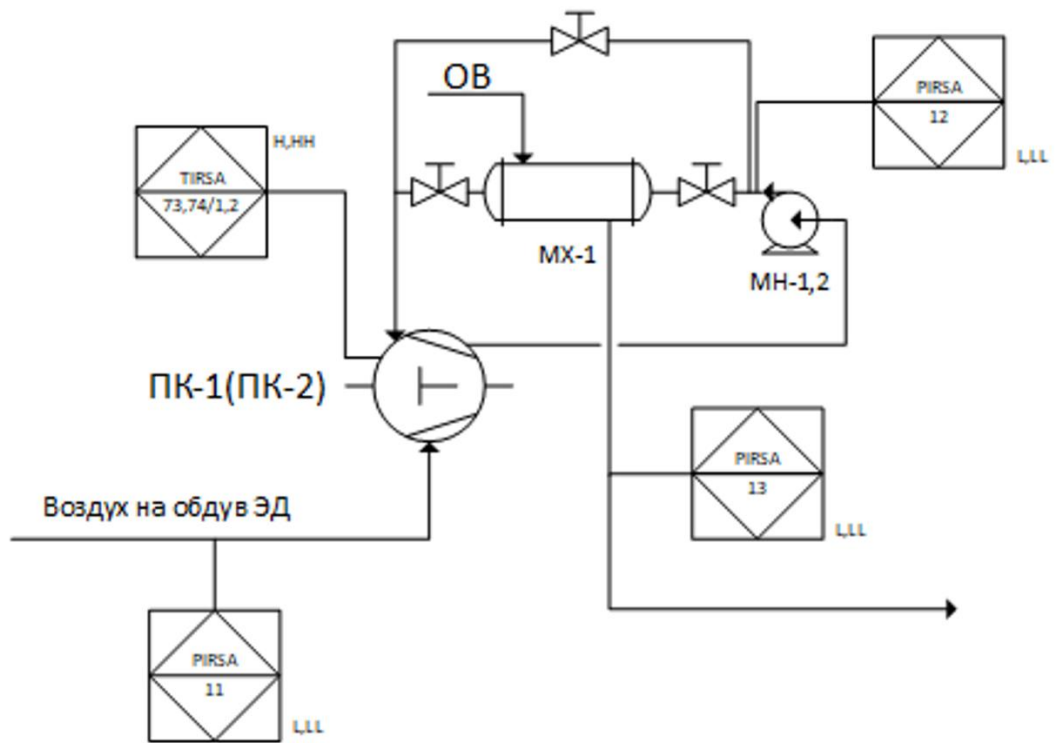


Рисунок 22 – Принципиальная технологическая схема участка установки гидроочистки дизельных топлив, лист 4

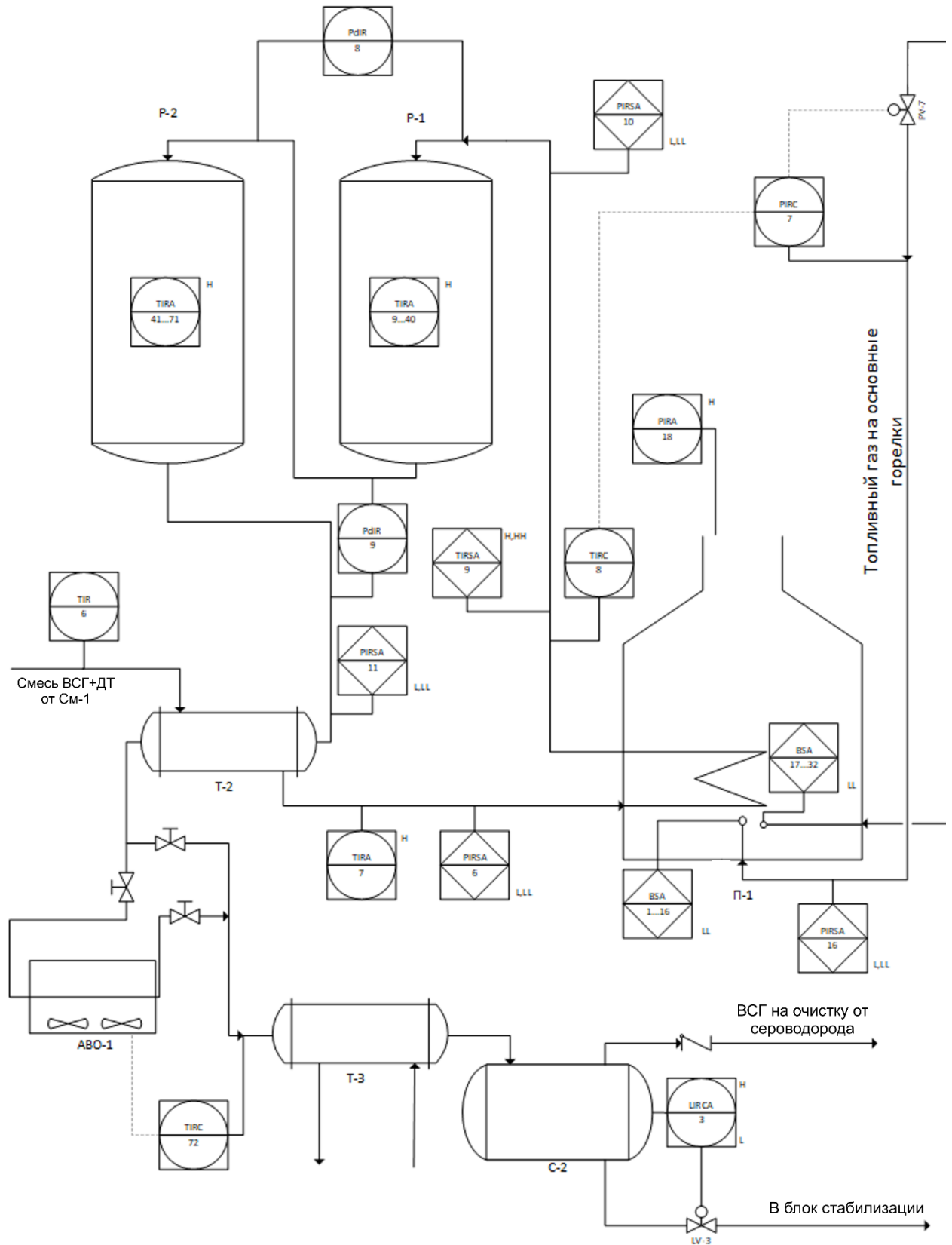


Рисунок 23 – Принципиальная технологическая схема участка установки гидроочистки дизельных топлив, лист 5

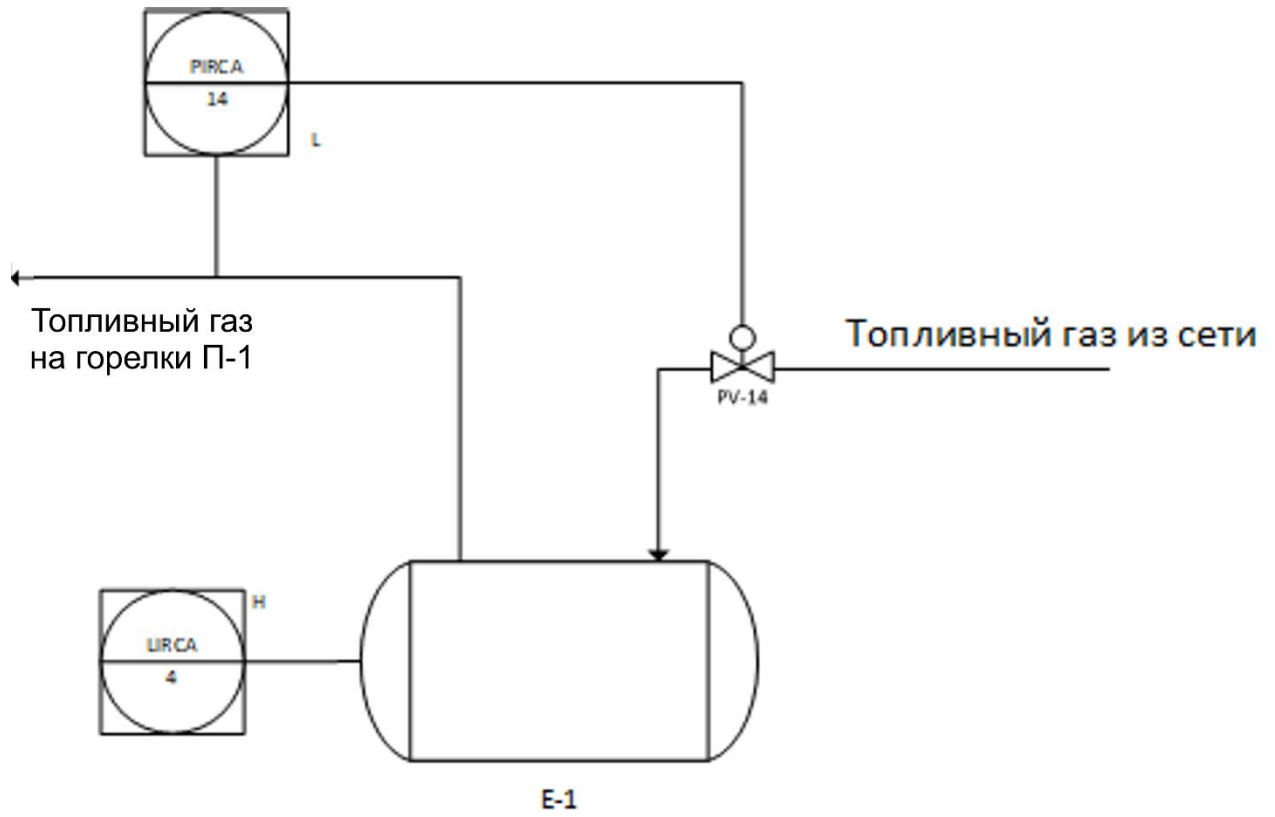


Рисунок 24 – Принципиальная технологическая схема участка установки гидроочистки дизельных топлив, лист 6

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
РАБОЧИЕ ТАБЛИЦЫ НАЗОР

Узел 1.1 Реакторный блок

Часть 1.1.1 Приготовление газосырьевой смеси

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
Элемент 1. Насос поз.Н-1(Н-2)						
1.1	Температура подшипников - БОЛЬШЕ	- Износ подшипников - Недостаток смазки (ошибка персонала)	Температура подшипников вала насоса поз.Н-1(Н-2) более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Заклинивание подшипников вала насоса поз. Н-1 (Н-2), выход из строя насоса поз. Н-1(Н-2)	-ПАЗ-TIRSAHH-1/1,2, TIRSAHH-2/1,2;	
1.2	Температура подшипников электродвигателя - БОЛЬШЕ	- Износ подшипников - Недостаток смазки (ошибка персонала)	Температура подшипников электродвигателя насоса поз.Н-1(Н-2) более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация	-ПАЗ-TIRSAHH-3/1,2, TIRSAHH-4/1,2;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
				Заклинивание подшипников электродвигателя насоса поз. Н-1(Н-2), остановка насоса поз. Н-1(Н-2)		
1.3	Температура обмоток электродвигателя - БОЛЬШЕ	- Отказ датчика FIRC-1(занижает показания. Ложный сигнал на открытие клапана поз. FV-1) - Отказ клапана поз. FV-1(заклинило в открытом положении)	Температура обмоток электродвигателя насоса поз.Н-1(Н-2) более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Снижение работоспособности насоса поз. Н-1 (Н-2) из-за роста температуры обмоток электродвигателя насоса поз. Н-1(Н-2)	-СС-FIRA-1;	
1.4	Вибрация - БОЛЬШЕ	- Износ соединительной муфты - Механическая неисправность насоса поз.Н-1 (Н-2)	Вибрация насоса поз.Н-1(Н-2) более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Снижение работоспособности насоса поз.Н-1(Н-2) из-за выхода из строя		

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
				насоса поз.Н-1(Н-2) при повышенной вибрации		
1.5	Герметичность уплотнений насоса - НЕ ИЛИ НЕТ	- Выход из строя торцевых уплотнений насоса - Нарушение герметичности в системе затворной жидкости торцевого уплотнения	Герметичность торцевых уплотнений насоса поз.Н-1(Н-2) отсутствует	Безопасность Нарушение герметичности насоса поз. Н-1(Н-2), розлив ЛВЖ на площадку. Пожар пролива. Гибель/травмирование человека. Экология Безопасных последствий Эксплуатация Нарушение герметичности насоса поз. Н-1(Н-2), розлив ЛВЖ на площадку. Пожар пролива. Экономические потери. Продолжение 1 Падение давления на нагнетании насоса поз.Н-1(Н-2) из-за нарушения герметичности торцевого уплотнения насоса поз.Н-1(Н-2)	-ПАЗ-QIRSA-1;	Предусмотреть КИП на бочке затворной жидкости для насоса поз.Н-1(Н-2,Н-3) по контролю давления с сигнализацией минимального значения. Предусмотреть КИП на бочке затворной жидкости для насоса поз.Н-1(Н-2,Н-3) по контролю уровня с сигнализацией минимального значения. Предусмотреть КИП на бочке затворной жидкости для насоса поз.Н-

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
						1(Н-2,Н-3) по контролю температуры с сигнализацией максимального значения.
1.6	Уровень - НЕ ИЛИ НЕТ	- Ошибочное перекрытие запорной арматуры на приемном трубопроводе насоса	Уровень в приемном трубопроводе насоса поз.Н-1(Н-2) отсутствует	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Снижение работоспособности насоса поз. Н-1(Н-2) из-за отсутствия жидкости на приеме насоса поз. Н-1(Н-2)		Предусмотреть контур ПАЗ с установкой датчика контроля заполнения на приемном трубопроводе насоса поз. Н-1(Н-2) и выдачей сигнала на останов насоса поз. Н-1(Н-2) при отсутствии уровня в приемном трубопроводе.
1.7	Работоспособность - ОТСУТСТВУЕТ	- Снижение работоспособности насоса поз.Н-1(Н-2) из-за выхода из строя насоса поз.Н-1(Н-2) при повышенной вибрации - Падение давления на нагнетании насоса поз.Н-1(Н-2) из-за нарушения	Работоспособность насоса поз.Н-1(Н-2, Н-3) отсутствует	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация	-Резервный насос;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
		герметичности торцевого уплотнения насоса поз.Н-1(Н-2) - Снижение работоспособности насоса поз. Н-1(Н-2) из-за отсутствия жидкости на приеме насоса поз. Н-1(Н-2) - Заклинивание подшипников вала насоса поз. Н-1 (Н-2), выход из строя насоса поз. Н-1(Н-2) - Заклинивание подшипников электродвигателя насоса поз. Н-1(Н-2), остановка насоса поз. Н-1(Н-2) - Снижение работоспособности насоса поз. Н-1 (Н-2) из-за роста температуры обмоток электродвигателя насоса поз. Н-1(Н-2)		Выход из строя насоса поз. Н-1(Н-2). Снижение производительности установки. Продолжение 1 Выход из строя насоса поз. Н-1 (Н-2)		
Элемент 2. Теплообменник поз.Т-1						
2.1	Температура - БОЛЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Температура сырья на выходе из межтрубного пространства теплообменника поз.Т-24 более	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий		

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
			регламентированног о	Эксплуатация Без опасных последствий		
2.2	Температу ра - МЕНЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Температура сырья на выходе из межтрубного пространства теплообменника поз.Т-24 менее регламентированног о	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		
2.3	Температу ра - БОЛЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Температура диз. топлива на выходе из трубного пространства теплообменника поз.Т-24 более регламентированног о	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		
2.4	Температу ра - МЕНЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Температура диз. топлива на выходе из трубного пространства теплообменника поз.Т-24 менее регламентированног о	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
				Без опасных последствий		
2.5	Герметичность - НЕ ИЛИ НЕТ	- Нарушение герметичности трубного пространства теплообменника из-за коррозии.	Нарушение герметичности трубного пространства теплообменника поз.Т-1	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Попадание сырья в трубное пространство теплообменника поз.Т- 1. Получение некондиционного продукта.		
Элемент 3. Тройник смешения См-1						
3.1	Расход - БОЛЬШЕ	- Отказ датчика FIRC- 1(занижает показания. Ложный сигнал на открытие клапана поз. FV-1) - Отказ клапана поз. FV- 1(заклинило в открытом положении)	Расход сырья в тройник смешения более регламентированног о	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Увеличение содержания сырья на выходе из тройника смешения из-за роста расхода сырья в тройник смешения Продолжение 1	- РЕКОМЕНДАЦИЯ : предусмотреть сигнализацию по максимальному значению для прибора FIRA-1; - РЕКОМЕНДАЦИЯ : предусмотреть сигнализацию по максимальному значению для	РЕКОМЕНДА ЦИЯ: предусмотреть сигнализацию по максимальному значению для прибора FIRA- 1РЕКОМЕНДА ЦИЯ: предусмотреть сигнализацию по максимальному

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
				Увеличение расхода сырья в печь поз. П-1 из-за увеличения расхода сырья в тройник смешения поз. См-1	прибора FIRSA-2;	значению для прибора FIRSA-2
3.2	Расход - МЕНЬШЕ	- Отказ датчика FIRC-1 (завышает показания. Ложный сигнал на закрытие клапана поз. FV-1) - Отказ клапана поз. FV-1 (заклинило в закрытом положении) - Выход из строя насоса поз. Н-1 (Н-2)	Расход сырья в тройник смешения менее регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Снижение содержания сырья на выходе из тройника смешения из-за снижения расхода сырья в тройник смешения Продолжение 1 Снижение расхода сырья в печь поз. П-1 из-за снижения расхода сырья в тройник смешения поз. См-1	-САР, СС-FIRCAL-1; -ПАЗ-FIRSA-2; -СС-FIRCAL-1;	
3.3	Расход - БОЛЬШЕ	- Отказ датчика PIRC-1 (занижает показания. Ложный сигнал на открытие клапана поз. PV-1) - Отказ клапана поз. PV-1 (заклинило в открытом	Расход циркулирующего ВСГ в тройник смешения более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий	-ПАЗ-PIRSA-2; -ПАЗ-PIRSA-5;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
		положении)		Эксплуатация Увеличение содержания ВСГ на выходе из тройника смешения из-за роста расхода ВСГ в тройник смешения		
3.4	Расход - МЕНЬШЕ	- Выход из строя компрессора поз. ПК-1(ПК- 2) - Снижение расхода ВСГ из- за роста температуры на нагнетании компрессора поз. ПК-1 (ПК-2) - Снижение расхода ВСГ из- за падения давления на всасе компрессора поз. ПК-1 (ПК- 2)	Расход циркулирующего ВСГ в тройник смешения менее регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Снижение содержания ВСГ на выходе из тройника смешения из- за снижения расхода ВСГ в тройник смешения	-ПАЗ-FIRSA-3;	
3.5	Состав - ДРУГОЙ, ЧЕМ	- Увеличение содержания сырья на выходе из тройника смешения из-за роста расхода сырья в тройник смешения - Снижение содержания ВСГ на выходе из тройника смешения из-за снижения расхода ВСГ в тройник смешения	Содержание сырья на выходе из тройника смешения более регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Неполнота реакции в реакторах поз. Р-1 (Р-2) из-за нарушения соотношения		

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
				ВСГ: Сырье в тройнике смешения (мало ВСГ) Продолжение 1 Рост перепада давления на реакторах поз. Р-1 (Р-2) из-за роста содержания сырья в смеси сырье-ВСГ		
3.6	Состав - ДРУГОЙ, ЧЕМ	- Снижение содержания сырья на выходе из тройника смешения из-за снижения расхода сырья в тройник смешения - Увеличение содержания ВСГ на выходе из тройника смешения из-за роста расхода ВСГ в тройник смешения	Содержание сырья на выходе из тройника смешения менее регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Избыточные затраты на энергоресурсы из-за снижения содержания сырья на выходе из тройника смешения.		

Часть 1.1.2 Подача ВСГ

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
Элемент 1. Сепаратор поз.С-1						

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
1.1	Температура - БОЛЬШЕ	- Поступление ВСГ с температурой более регламентированного значения	Температура в сепараторе поз. С-1 более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий Продолжение 1 Рост температуры на нагнетании компрессора поз. ПК-1 (ПК-2) из-за роста температуры в сепараторе поз. С-1		
1.2	Температура - МЕНЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Температура в сепараторе поз.С-1 менее регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		
1.3	Уровень - БОЛЬШЕ	- Отказ датчика LIRC-1 (занижает показания. Ложный сигнал на закрытие клапана LV-1) - Отказ клапана LV-1(заклинило в закрытом	Уровень конденсата в сепараторе поз.С-5 более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий	-ПА3-LIRSAHH-2; -CC-LIRAH-1;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
		положении)		Эксплуатация Выход из строя компрессора поз. ПК-1 (ПК-2) из-за поступления жидкости на всас при переполнении сепаратора поз. С-1		
1.4	Уровень - МЕНЬШЕ	- Отказ датчика LIRC-1 (завышает показания. Ложный сигнал на открытие клапана LV-1) - Отказ клапана LV-1 (заклинило в открытом положении)	Уровень конденсата в сепараторе поз.С-1 менее регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Проскок ВСГ в линию конденсата из-за падения уровня в сепараторе поз. С-1	-СК-LIR-1;	
1.5	Давление - БОЛЬШЕ	- Отказ датчика PIRC-1 (занижает показания. Ложный сигнал на открытие клапана поз. PV-1) - Отказ клапана поз. PV-1 (заклинило в открытом положении)	Давление в сепараторе поз.С-1 более регламентированно	Безопасность Нарушение герметичности сепаратора поз. С-1 из- за роста давления. Формирование взрывоопасного облака. Взрыв/пожар. Гибель персонала Экология Без опасных последствий	-ППК-PSV-1/1,2 (PSV-2/1,2); -ПАЗ-QIRSA-2; -СК-PIR-1;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
				Эксплуатация Нарушение герметичности сепаратора поз. С-1 из-за роста давления. Формирование взрывоопасного облака. Взрыв/пожар. Экономические потери.		
1.6	Давление - МЕНЬШЕ	- Отказ датчика PIRC-1(завышает показания. Ложный сигнал на закрытие клапана поз. PV-1) - Отказ клапана поз. PV-1(заклинило в закрытом положении)	Давление в сепараторе поз.С-5 менее регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий Продолжение 1 Снижение давления на всасе компрессора поз. ПК-1 (ПК-2) из-за падения давления в сепараторе поз. С-1	-СК-PIR-1;	
Элемент 2. Компрессор поз.ПК-1(ПК-2)						
2.1	Давление - БОЛЬШЕ	- Отказ датчика PIRC-1(занижает показания. Ложный сигнал на открытие клапана поз. PV-1) - Отказ клапана поз. PV-1(заклинило в открытом	Давление циркулирующего газа на всасе компрессора поз.ПК-1 (ПК-2) более	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий	-ПАЗ-PIRSAHH-2; -ППК-PSV-1/1,2 (PSV-2/1,2);	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
		положении)	регламентированног о	Эксплуатация Рост давления на нагнетании компрессора поз. ПК- 1(ПК-2) из-за роста давления на всасе компрессора поз. ПК- 1(ПК-2)		
2.2	Давление - МЕНЬШЕ	- Снижение давления на всасе компрессора поз. ПК-1 (ПК-2) из-за падения давления в сепараторе поз. С-1	Давление циркулирующего газа на всасе компрессора поз.ПК- 1 (ПК-2) менее регламентированног о	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Снижение расхода ВСГ из-за падения давления на всасе компрессора поз. ПК-1 (ПК-2) Продолжение 1 Снижение давления на нагнетании компрессора поз. ПК-1 из-за снижения давления на всасе компрессора поз. ПК-1		
2.3	Давление - БОЛЬШЕ	- Рост давления на нагнетании компрессора поз. ПК-1(ПК-2) из-за роста давления на всасе компрессора поз. ПК-1(ПК-	Давление на нагнетании трубопровода компрессора поз.ПК- 1 (ПК-2) более	Безопасность Без опасных последствий Экология	-ПАЗ-PIRSAHH-5; -ППК-PSV-3/1,2;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
		2) - Рост давления в реакторе поз. Р-1 (Р-2) из-за закоксовывания катализатора в реакторах поз. Р-1 (Р-2) при нарушении соотношения сырье:ВСГ. - Рост давления на нагнетании компрессора поз. ПК-1 (ПК-2) из-за роста уровня в сепараторе поз. С-2	регламентированно	Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий Продолжение 1 Рост перепада давления на компрессоре поз. ПК-1(ПК-2) из-за роста давления на нагнетании компрессора поз. ПК-1(ПК-2)		
2.4	Давление - МЕНЬШЕ	- Снижение давления на нагнетании компрессора поз. ПК-1 из-за снижения давления на всасе компрессора поз. ПК-1	Давление на нагнетании трубопровода компрессора поз.ПК-1 (ПК-2) менее регламентировано	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Снижение производительности установки из-за снижение количества ВСГ. Экономические потери	-ПАЗ-FIRSA-3;	
2.5	Перепад давления - БОЛЬШЕ	- Рост перепада давления на компрессоре поз. ПК-1(ПК-2) из-за роста давления на нагнетании компрессора поз. ПК-1(ПК-2)	Перепад давления циркулирующего газа между нагнетательным и всасывающим трубопроводом	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий	-ПАЗ-PdIRSA-3,4;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
			компрессора поз.ПК-1 (ПК-2) более регламентированно	Эксплуатация Нарушение технологического процесса из-за снижения пропускной способности ВСГ через слой катализатора. Остановка одного потока. Экономический потери Продолжение 1 Рост температуры на нагнетании компрессора поз. ПК-1(ПК-2) из-за срабатывания антипомпажной защиты		
2.6	Температура - БОЛЬШЕ	- Рост температуры на нагнетании компрессора поз. ПК-1 (ПК-2) из-за роста температуры в сепараторе поз. С-1 - Рост температуры на нагнетании компрессора поз. ПК-1(ПК-2) из-за срабатывания антипомпажной защиты	Температура циркулирующего газа на нагнетании компрессора поз.ПК-1 (ПК-2) более регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Снижение расхода ВСГ из-за роста температуры на нагнетании компрессора поз. ПК-1 (ПК-2)	-ПАЗ-TIRSAHH-5;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
2.7	Температура - МЕНЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Температура циркулирующего газа на нагнетании компрессора поз.ПК-1 (ПК-2) менее регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		
2.8	Давление - БОЛЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Давление воздуха на обдув электродвигателя компрессора поз.ПК-1 (ПК-2) более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий	-СК-PIRSA-11;	
2.9	Давление - МЕНЬШЕ	- Выход из строя воздуходувки - Забивка воздухозаборника/калорифера	Давление воздуха на обдув электродвигателя компрессора поз.ПК-1 (ПК-2) менее регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Нарушение взрывозащиты компрессора поз. ПК-1(ПК-2) из-за снижения подачи воздуха на электродвигатель	-ПАЗ-PIRSA-11;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
				компрессора поз. ПК-1(ПК-2)		
2.10	Температура - БОЛЬШЕ	<ul style="list-style-type: none"> - Износ подшипников - Рост температуры подшипников компрессора поз. ПК-1(ПК-2) из-за снижения давления в маслосистеме компрессора поз. ПК-1(ПК-2) - Рост температуры подшипников компрессора поз. ПК-1(ПК-2) из-за роста температуры масла на выходе из маслоохладителя поз. МХ-1 	Температура коренных подшипников компрессора поз.ПК-1 (ПК-2) более регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Нарушение работоспособности компрессора поз. ПК-1(ПК-2) из-за роста температуры подшипников компрессора поз. ПК-1(ПК-2)	-ПАЗ-TIRSAHH-73,74/1,2;	
2.11	Давление - БОЛЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Давление масла на подшипники компрессора поз.ПК-1 (ПК-2) более регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий	-СК-PIRSA-12;	
2.12	Давление - МЕНЬШЕ	<ul style="list-style-type: none"> - Выход из строя насоса поз. МН-1,2 - Нарушение герметичности масляного контура 	Давление масла на подшипники компрессора поз.ПК-1 (ПК-2) менее	Безопасность Без опасных последствий Экология	-ПАЗ-PIRSA-12;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
			регламентированно о	Без опасных последствий Эксплуатация Рост температуры подшипников компрессора поз. ПК- 1(ПК-2) из-за снижения давления в маслосистеме компрессора поз. ПК- 1(ПК-2)		
2.13	Работоспо собность - ОТСУТСТ ВУЕТ	- Нарушение работоспособности компрессора поз. ПК-1(ПК- 2) из-за роста температуры подшипников компрессора поз. ПК-1(ПК-2) - Снижение расхода ВСГ из- за падения давления на всасе компрессора поз. ПК-1 (ПК- 2)	Нарушение работоспособности компрессора поз. ПК-1 (ПК-2)	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Выход из строя компрессора поз. ПК-1 (ПК-2). Экономические потери Продолжение 1 Выход из строя компрессора поз. ПК- 1(ПК-2)	-Резервный компрессор;	
Элемент 3. Масляный холодильник поз.Х-1						
3.1	Давление - БОЛЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Давление обратной воды на входе в масляный холодильник	Безопасность Без опасных последствий Экология		

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
			поз.МХ-1 более регламентированно	Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		
3.2	Давление - МЕНЬШЕ	- Отсутствие подачи оборотной воды - Увеличение отложений в системе оборотного водоснабжения	Давление оборотной воды на входе в масляный холодильник поз.МХ-1 менее регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост температуры масла на выходе из холодильника поз. МХ-1 из-за снижения давления оборотной воды	-ПАЗ-PIRSA-13;	
3.3	Температура - БОЛЬШЕ	- Рост температуры масла на выходе из холодильника поз. МХ-1 из-за снижения давления оборотной воды	Температура на выходе масляного холодильника поз.МХ-1 более регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост температуры подшипников компрессора поз. ПК-1(ПК-2) из-за роста температуры масла на выходе из		

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
				маслохолодильника поз. МХ-1		
3.4	Температура - МЕНЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Температура на выходе масляного холодильника поз.МХ-1 менее регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		
3.5	Герметичность - НЕ ИЛИ НЕТ	- Разгерметизация трубного пространства масляного холодильника поз. МХ-1	Нарушение герметичности масляного холодильника поз.МХ-1	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Поступление масла в систему обратного водоснабжения из-за нарушения герметичности холодильника поз. МХ-1. Экономические потери	-ПАЗ-PIRSA-12;	

Часть 1.1.3 Реакторный блок (гидроочистка)

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
Элемент 1. Теплообменник поз. Т-2						
1.1	Температура - БОЛЬШЕ	- Рост температуры смеси (Сырье+ВСГ) на выходе из теплообменника поз. Т-2 из-за роста температуры газопродуктовой смеси на выходе из Р-1(Р-2)	Температура (ВСГ+Смесь) на выходе из межтрубного пространства теплообменника поз. Т-2 более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост температуры сырья в печи поз. П-1 из-за роста температуры теплообменнике поз. Т-2	-СС-TIRAH-7;	
1.2	Температура - МЕНЬШЕ	- Снижение температуры смеси (Сырье+ВСГ) на выходе из теплообменника поз. Т-2 из-за снижения температуры газопродуктовой смеси на выходе из Р-1(Р-2)	Температура на выходе из межтрубного пространства теплообменника поз. Т-2 менее регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Снижение температуры сырья в печи поз. П-1 из-за снижения температуры теплообменнике поз. Т-2	-СК-TIR-7;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
1.3	Температура - БОЛЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Температура на выходе из трубного пространства теплообменника поз. Т-2 более регламентировано	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		
1.4	Температура - МЕНЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Температура на выходе из трубного пространства теплообменника поз. Т-2 менее регламентировано	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		
1.5	Герметичность - НЕ ИЛИ НЕТ	- Нарушение герметичности трубного пространства теплообменника поз. Т-2	Герметичность трубного пространства теплообменника поз. Т-2 отсутствует	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Поступление сырья в газопродуктовую смесь из-за нарушения герметичности трубного пространства теплообменника поз. Т-	-Периодический аналитический контроль;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
				2. Экономические потери		
Элемент 2. Печь поз. П-1						
2.1	Давление - БОЛЬШЕ	- Отказ датчика PIRC-11 (Занижение показаний. Ложный сигнал на открытие клапана PV-11) - Отказ клапана PV-11 (Заклинило в открытом положении) - Рост давления перед горелками печей из-за роста давления в емкости поз. Е-1	Давление топливного газа на пилотные горелки печи поз.П-1 более регламентированног о	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Погасание пилотных горелок печи поз. П-1 из-за роста давления топливного газа на пилотные горелки печи поз. П-1	-СК-PIR-11;	
2.2	Давление - МЕНЬШЕ	- Отказ датчика PIRC-11 (Завышение показаний. Ложный сигнал на закрытие клапана PV-11) - Отказ клапана PV-11 (Заклинило в закрытом положении) - Падение давления перед горелками печи поз. П-1 из- за падения давления в емкости поз. Е-1	Давление топливного газа на пилотные горелки печи поз.П-1 менее регламентированног о	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Погасание пилотных горелок печи поз. П-1 из-за снижения давления топливного газа на пилотные горелки печи поз. П-1	-ПАЗ-PIRSALL-15;	
2.3	Давление - БОЛЬШЕ	- Отказ датчика PIRC-7 (Занижение показаний.	Давление топливного газа на	Безопасность	-СК-PIR-7; -СК-PIR-7;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
		<p>Ложный сигнал на открытие клапана PV-7) - Отказ датчика TIRC-8 (Занижение показаний. Ложный сигнал на открытие клапана PV-7) - Отказ клапана PV-7 (Заклинило в открытом положении) - Рост давления перед горелками печей из-за роста давления в емкости поз. Е-1</p>	<p>основные горелки каждой секции печи поз.П-1 более регламентированно</p>	<p>Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Погасание основных горелок печи поз. П-1 из-за роста давления топливного газа на основные горелки печи поз. П-1 Продолжение 1 Рост температуры на выходе из печи поз. П-1 из-за роста давления топливного газа на основные горелки печи</p>	<p>-CAP-TIRC-8; -CAP-TIRC-8; -CAP-PIRC-7;</p>	
2.4	Давление - МЕНЬШЕ	<p>- Отказ датчика PIRC-7 (Завышение показаний. Ложный сигнал на закрытие клапана PV-7) - Отказ датчика TIRC-8 (Завышение показаний. Ложный сигнал на закрытие клапана PV-8) - Отказ клапана PV-7 (Заклинило в закрытом положении) - Падение давления перед горелками печи поз. П-1 из-</p>	<p>Давление топливного газа на основные горелки каждой секции печи поз.П-1 менее регламентированно</p>	<p>Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Погасание основных горелок печи поз. П-1 из-за снижения давления топливного газа на основные горелки печи поз. П-1</p>	<p>-ПАЗ-PIRSALL-16; -СК-PIR-7; -СК-TIR-8; -CAP-TIRC-8; -CAP-PIRC-7;</p>	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
		за падения давления в емкости поз. Е-1		Продолжение 1 Снижение температуры на выходе из печи поз. П-1 из-за снижения давления топливного газа на основные горелки печи		
2.5	Расход - БОЛЬШЕ	- Увеличение расхода сырья в печь поз. П-1 из-за увеличения расхода сырья в тройник смешения поз. См-1	Расход сырья в печь поз.П-1 более регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Снижение температуры на выходе из печи поз. П-1 из-за роста расхода сырья в печь поз. П-1		
2.6	Расход - МЕНЬШЕ	- Увеличение расхода сырья в печь поз. П-1 из-за увеличения расхода сырья в тройник смешения поз. См-1 - Снижение расхода сырья в печь поз. П-1 из-за снижения расхода сырья в тройник смешения поз. См-1	Расход сырья в печь поз.П-1 менее регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост температуры в печи поз. П-1 из-за снижения расхода сырья в печь поз. П-1	-ПАЗ-PIRSALL-6;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
2.7	Пламя горелок - НЕ ИЛИ НЕТ	<p>- Погасание пилотных горелок печи поз. П-1 из-за роста давления топливного газа на пилотные горелки печи поз. П-1</p> <p>- Погасание пилотных горелок печи поз. П-1 из-за снижения давления топливного газа на пилотные горелки печи поз. П-1</p>	Отсутствует пламя пилотных горелках в печи поз.П-1	<p>Безопасность</p> <p>Без опасных последствий</p> <p>Экология</p> <p>Без опасных последствий</p> <p>Эксплуатация</p> <p>Погасание пилотных горелок печи поз. П-1 из-за нарушений в подачи топливного газа к пилотным горелкам</p>	-ПАЗ-BSA-17...32;	
2.8	Пламя горелок - НЕ ИЛИ НЕТ	<p>- Погасание основных горелок печи поз. П-1 из-за роста давления топливного газа на основные горелки печи поз. П-1</p> <p>- Погасание основных горелок печи поз. П-1 из-за снижения давления топливного газа на основные горелки печи поз. П-1</p>	Отсутствует пламя основных горелок в печи поз.П-1	<p>Безопасность</p> <p>Без опасных последствий</p> <p>Экология</p> <p>Без опасных последствий</p> <p>Эксплуатация</p> <p>Понижение температуры сырья на выходе из печи поз. П-1 из-за погасания пламени основных горелок печи поз. П-1</p> <p>Продолжение 1</p> <p>Погасание основных горелок печи поз. П-1 из-за нарушений в подачи топливного газа к основным горелкам</p>	-ПАЗ-BSA-1...16;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
2.9	Температура - БОЛЬШЕ	- Рост температуры на выходе из печи поз. П-1 из-за роста давления топливного газа на основные горелки печи - Рост температуры сырья в печи поз. П-1 из-за роста температуры теплообменнике поз. Т-2	Температура сырья в печи поз.П-1 более регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост температуры в реакторе гидроочистки поз. Р-1 (Р-2) из-за роста температуры сырья на выходе из печи поз. П-1	-ПАЗ-TIRSA-9;	
2.10	Температура - БОЛЬШЕ	- Рост температуры в печи поз. П-1 из-за снижения расхода сырья в печь поз. П-1	Температура сырья в печи поз.П-1 более регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Прогар змеевика в печи поз. П-1 из-за роста температуры змеевика печи поз. П-1. Пожар в топке печи поз. П-1. Экономические потери		
2.11	Температура - МЕНЬШЕ	- Снижение температуры на выходе из печи поз. П-1 из-за роста расхода сырья в печь поз. П-1 - Снижение температуры на выходе из печи поз. П-1 из-	Температура сырья в печи поз.П-1 менее регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий	-САР-TIRC-8;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
		за снижения давления топливного газа на основные горелки печи - Снижение температуры сырья в печи поз. П-1 из-за снижения температуры теплообменнике поз. Т-2		Эксплуатация Падение температуры в реакторе гидроочистки поз. Р-1(Р-2) из-за падения температуры сырья на выходе из печи поз. П-1		
2.12	Разрежение в борове печи - БОЛЬШЕ	- Рост разрежения в борове печи поз. П-1 из-за перекрытия регистра на форсунках печи поз. П-1 (ошибка персонала)	Разряжение в печи поз.П-1 более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Погасание пламени пилотных и основных горелок печи поз. П-1 из-за роста разрежения в борове печи поз. П-1	-СС-PIRAH-18; -ПАЗ-BSA-1...16; -ПАЗ-BSA-17...32;	
2.13	Разрежение в борове печи - МЕНЬШЕ	- Падение разрежение в борове печи поз. П-1 из-за перекрытия центрального шибера печи поз. П-1 (ошибка персонала)	Разрежение в печи поз. П-1 менее регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Погасание пламени пилотных и основных горелок печи поз. П-1 из-за снижения	-ПАЗ-PIRSA-17; -ПАЗ-BSA-1...16; -ПАЗ-BSA-17...32;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
				разрежения в борове печи поз. П-1		
2.14	Загазованность - БОЛЬШЕ	- Погасание пилотных горелок печи поз. П-1 из-за нарушений в подачи топливного газа к пилотным горелкам - Погасание основных горелок печи поз. П-1 из-за нарушений в подачи топливного газа к основным горелкам - Погасание пламени пилотных и основных горелок печи поз. П-1 из-за роста разрежения в борове печи поз. П-1 - Погасание пламени пилотных и основных горелок печи поз. П-1 из-за снижения разрежения в борове печи поз. П-1	Концентрация топливного газа в смеси с воздухом в печи поз. П-1 более регламентированного значения	Безопасность Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека Экология Без опасных последствий Эксплуатация Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Экономические потери		
Элемент 3. Реактор гидроочистки поз. Р-1(Р-2)						
3.1	Температура - БОЛЬШЕ	- Рост температуры в реакторе гидроочистки поз. Р-1 (Р-2) из-за роста температуры сырья на выходе из печи поз. П-1	Температура в реакторе поз.Р-1 более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация	-СС-TIRAH-9...40 (TIRAH-41...71); -СК-PdIR-8 (PdIR-9);	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
				<p>Деактивация катализатора, повышенное коксообразование в реакторе поз. Р-1(Р-2) из-за роста температуры сырья в печи поз. П-1. Экономические потери</p> <p>Продолжение 1 Рост давления в реакторах поз. Р-1(Р-2) из-за закоксовывания катализатора в реакторах поз. Р-1(Р-2) при росте температуры</p> <p>Продолжение 2 Рост температуры смеси (Сырье+ВСГ) на выходе из теплообменника поз. Т-2 из-за роста температуры газопродуктовой смеси на выходе из Р-1(Р-2)</p>		
3.2	Температура - МЕНЬШЕ	- Падение температуры в реакторе гидроочистки поз. Р-1(Р-2) из-за падения температуры сырья на выходе из печи поз. П-1	Температура в реакторе поз.Р-1 менее регламентировано	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий	-СК-TIRAH-9...40 (TIRAH-41...71);	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
				<p>Эксплуатация Дезактивация катализатора, повышенное коксообразование в реакторе поз. Р-1(Р-2) из-за падения температуры сырья в печи поз. П-1. Некондиция продуктов. Экономические потери</p> <p>Продолжение 1 Снижение температуры смеси (Сырье+ВСГ) на выходе из теплообменника поз. Т-2 из-за снижения температуры газопродуктовой смеси на выходе из Р-1(Р-2)</p> <p>Продолжение 2 Рост давления в реакторах поз. Р-1(Р-2) из-за закоксовывания катализатора в реакторах поз. Р-1(Р-2) при падении температуры</p>		
3.3	Давление - БОЛЬШЕ	- Рост давления в реакторах поз. Р-1(Р-2) из-за закоксовывания	Давление в реакторе поз.Р-1 более	Безопасность Без опасных последствий	-СК-PdIR-8 (PdIR-9);	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
		<p>катализатора в реакторах поз. Р-1(Р-2) при росте температуры - Рост давления в реакторах поз. Р-1(Р-2) из-за закоксовывания катализатора в реакторах поз. Р-1(Р-2) при падении температуры - Рост давления в реакторе поз. Р-1 (Р-2) из-за закоксовывания катализатора в реакторах поз. Р-1 (Р-2) при нарушении соотношения сырье:ВСГ.</p>	регламентированно	<p>Экология Безопасных последствий Эксплуатация Снижение производительности. Остановка одного потока из-за роста давления в реакторах поз. Р-1 (Р-2). Экономические потери</p>		
3.4	Давление - МЕНЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Давление в реакторе поз.Р-1 менее регламентированно	<p>Безопасность Безопасных последствий Экология Безопасных последствий Эксплуатация Безопасных последствий</p>	-ПАЗ-PIRSA-11;	
3.5	Соотношение - ДРУГОЙ, ЧЕМ	- Рост перепада давления на реакторах поз. Р-1 (Р-2) из-за роста содержания сырья в смеси сырье-ВСГ	Соотношение сырье:ВСГ нарушено (Сырья больше)	<p>Безопасность Безопасных последствий Экология Безопасных последствий</p>		

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
				Эксплуатация Рост давления в реакторе поз. Р-1 (Р-2) из-за закоксовывания катализатора в реакторах поз. Р-1 (Р-2) при нарушении соотношения сырье:ВСГ.		
Элемент 4. Аппарат воздушного охлаждения поз. АВО-1						
4.1	Температура на выходе - БОЛЬШЕ	- Отказ датчика TIRC-72 (Занижение показаний. Ложный сигнал на снижение оборотов АВО-1) - Выход из строя АВО поз. ТВ-101	Температура газа на выходе из АВО поз.АВО-1 более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост температуры в сепараторе поз. С-1 из-за роста температуры на выходе из АВО поз. АВО-1	-СК-TIR-72;	
4.2	Температура на выходе - МЕНЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Температура газа на выходе из АВО поз.АВО-1 менее регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
Элемент 5. Теплообменник поз. Т-3						
5.1	Температура - БОЛЬШЕ	- Недостаточная подача оборотной воды - Загрязнение поверхности теплообмена	Температура газопродуктовой смеси на выходе из холодильника поз. Т-3 более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост температуры в сепараторе поз. С-1 из-за роста температуры на выходе из холодильника поз. Т-3		
5.2	Температура - МЕНЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Температура газопродуктовой смеси на выходе из холодильника поз. Т-3 менее регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		
5.3	Герметичность - НЕ ИЛИ НЕТ	- Нарушение герметичности трубного пространства холодильника поз. Т-3	Нарушение герметичности холодильника поз. Т-3	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Попадание углеводородов в	-Контроль наличия углеводородов в потоке оборотной воды;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
				систему оборотного водоснабжения из-за нарушения герметичности холодильника поз. Т-3. Экономические потери		
Элемент 6. Сепаратор поз. С-2						
6.1	Температура - БОЛЬШЕ	- Рост температуры в сепараторе поз. С-1 из-за роста температуры на выходе из АВО поз. АВО-1 - Рост температуры в сепараторе поз. С-1 из-за роста температуры на выходе из холодильника поз. Т-3	Температура в сепараторе поз. С-2 более регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		
6.2	Температура - МЕНЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Температура в сепараторе поз.С-2 менее регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		
6.3	Уровень - БОЛЬШЕ	- Отказ датчика LIRC-3(занижает показания. Ложный сигнал на закрытие клапана LV-3) - Отказ клапана LV-3	Уровень в сепараторе поз.С-2 более регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология	-CC-LIRAH-3;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
		(заклинило в закрытом положении)		Без опасных последствий Эксплуатация Рост давления на нагнетании компрессора поз. ПК-1 (ПК-2) из-за роста уровня в сепараторе поз. С-2		
6.4	Уровень - МЕНЬШЕ	- Отказ датчика LIRC-3(завышает показания. Ложный сигнал на открытие клапана LV-3) - Отказ клапана LV-3 (заклинило в открытом положении)	Уровень в сепараторе поз.С-2 менее регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Проскок газа высокого давления в линию жидкости из-за падения уровня в сепараторе поз. С-2	-CC-LIRAL-3;	
6.5	Давление - БОЛЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Давление в сепараторе поз.С-2 более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
6.6	Давление - МЕНЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Давление в сепараторе поз.С-2 менее регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий Продолжение 1		

Часть 1.1.4 Подача природного газа в печь П-1

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
Элемент 1. Емкость поз.Е-1						
1.1	Температура - БОЛЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Температура в емкости поз.Е-1 более регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
1.2	Температура - МЕНЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Температура в емкости поз.Е-1 менее регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		
1.3	Давление - БОЛЬШЕ	- Отказ датчика PIRCA-14 (занижает показания. Ложный сигнал на открытие клапана PV-14) - Отказ клапана PV-14 (заклинило в открытом положении)	Давление в емкости поз.Е-1 более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост давления перед горелками печей из-за роста давления в емкости поз. Е-1	-СК-PIRCA-14;	
1.4	Давление - МЕНЬШЕ	- Отказ датчика PIRC-14 (Завышение показаний. Ложный сигнал на закрытие клапана PV-14) - Отказ клапана PV-14 (Заклинило в закрытом положении)	Давление в емкости поз.Е-1 менее регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Падение давления перед горелками печи поз. П-1 из-за падения	-СС-PIRCA-14;	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты	Рекомендации
Характеристика - управляющее слово						
				давления в емкости поз. Е-1		
1.5	Уровень - БОЛЬШЕ	- Рост уровня углеводородного конденсата в емкости поз. Е-23 из-за поступления топливного газа с конденсатом из заводской сети. - Холодное время года	Уровень в емкости поз.Е-1 более регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Погасание печи поз. П-1 из-за роста уровня конденсата в емкости поз. Е-1. Остановка печи поз. П-1. Экономические потери	-СК-LIRA-4;	
1.6	Уровень - МЕНЬШЕ	- Причины, приводящие к опасным последствиям, отсутствуют.	Уровень в емкости поз.Е-1 менее регламентированно	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий		

Узел 1.1 Компримирование природного газа

Часть 1.1.1 Поток для технологических целей

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты
Характеристика - управляющее слово					
Элемент 1. Компрессор природного газа					
1.1	Давление - БОЛЬШЕ	- Нарушение целостности сухих уплотнений компрессора природного газа	Давление природного газа на лабиринтные уплотнения компрессора природного газа более регламентированного значения	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Поступление природного газа в помещение компрессорной из-за нарушения сухих уплотнений компрессора природного газа	-ПАЗ-PIRSAH-1;
1.2	Давление - МЕНЬШЕ	- Ошибка оператора при настройке положения арматуры	Давление природного газа на лабиринтные уплотнения компрессора природного газа менее регламентированного значения	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Поступление природного газа в помещение компрессорной из-за снижения давления буферного газа на уплотнения компрессора природного газа	
1.3	Загазованность - БОЛЬШЕ	- Поступление природного газа в помещение компрессорной из-за нарушения сухих уплотнений компрессора природного газа	Загазованность в рабочей зоне компрессора природного газа	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация	-ПАЗ-AZA-1;

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты
Характеристика - управляющее слово					
		<p>- Поступление природного газа в помещение компрессорной из-за снижения давления буферного газа на уплотнения компрессора природного газа</p> <p>- Нарушение герметичности компрессора природного газа из-за роста вибрации вала со стороны ОП ЦВД. Загазованность в компрессорной</p> <p>- Нарушение герметичности компрессора природного газа из-за роста вибрации вала со стороны ОУП ЦВД. Загазованность в компрессорной</p> <p>- Нарушение герметичности компрессора природного газа из-за роста вибрации вала со стороны ОП ЦНД. Загазованность в компрессорной</p> <p>- Нарушение герметичности компрессора природного газа из-за роста вибрации вала со стороны ОУП ЦНД. Загазованность в компрессорной</p>		Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты
Характеристика - управляющее слово					
		компрессорной			

Часть 1.1.2 Маслосистема компрессора природного газа

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты
Характеристика - управляющее слово					
Элемент 1. Цилиндр высокого давления (ЦВД)					
1.1	Температура подшипников - БОЛЬШЕ	<ul style="list-style-type: none"> - Износ подшипников - Отсутствие смазки подшипников компрессора природного газа из-за выхода из строя маслонасоса - Рост температуры подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры масла на выходе из маслоохладителя 	Температура рабочей колодки ОУП ЦВД компрессора природного газа более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост вибрации подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры рабочей колодки ОУП ЦВД компрессора природного газа	-ПАЗ-TIRAS-1;
1.2	Температура подшипников - БОЛЬШЕ	<ul style="list-style-type: none"> - Износ подшипников - Отсутствие смазки подшипников компрессора природного газа из-за выхода из строя маслонасоса - Рост температуры подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры масла на выходе из маслоохладителя 	Температура опорной части опорно-упорного подшипника ЦВД компрессора природного газа более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост вибрации подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры опорной части ОУП ЦВД компрессора природного газа	-ПАЗ-TIRAS-2;
1.3	Температура подшипников - БОЛЬШЕ	<ul style="list-style-type: none"> - Износ подшипников - Отсутствие смазки подшипников компрессора природного газа из-за выхода из строя маслонасоса - Рост температуры подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры масла на 	Температура опорного подшипника ЦВД компрессора природного газа более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост вибрации подшипников компрессора природного газа из-за	-ПАЗ-TIRAS-3;

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты
Характеристика - управляющее слово					
		выходе из маслоохладителя		роста температуры ОП ЦВД компрессора природного газа	
1.4	Вибрация вала со стороны ОП БОЛЬШЕ -	- Рост вибрации подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры ОП ЦВД компрессора природного газа	Вибрация вала со стороны ОП ЦВД компрессора природного газа более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Нарушение герметичности компрессора природного газа из-за роста вибрации вала со стороны ОП ЦВД. Загазованность в компрессорной	-ПАЗ-ХЕ-1; -ПАЗ-ХЕ-2;
1.5	Вибрация вала со стороны ОУП БОЛЬШЕ -	- Рост вибрации подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры рабочей колодки ОУП ЦВД компрессора природного газа	Вибрация вала со стороны ОУП ЦВД компрессора природного газа более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Нарушение герметичности компрессора природного газа из-за роста вибрации вала со стороны ОУП ЦВД. Загазованность в компрессорной	-ПАЗ-ХЕ-3; -ПАЗ-ХЕ-4;
Элемент 2. Цилиндр низкого давления (ЦНД)					
2.1	Температура подшипников БОЛЬШЕ -	- Рост температуры подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры масла на выходе из маслоохладителя - Отсутствие смазки подшипников компрессора природного газа из-за выхода из строя маслонасоса	Температура нерабочей колодки ОУП ЦНД компрессора природного газа более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост вибрации подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры нерабочей	-ПАЗ-TIRAS-4;

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты
Характеристика - управляющее слово					
		- Износ подшипников		колодки ОУП ЦНД компрессора природного газа	
2.2	Температура подшипников - БОЛЬШЕ	- Рост температуры подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры масла на выходе из маслоохладителя - Отсутствие смазки подшипников компрессора природного газа из-за выхода из строя маслонасоса - Износ подшипников	Температура рабочей колодки ОУП ЦНД компрессора природного газа более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост вибрации подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры рабочей колодки ОУП ЦНД компрессора природного газа	-ПАЗ-TIRAS-5;
2.3	Температура подшипников - БОЛЬШЕ	- Рост температуры подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры масла на выходе из маслоохладителя - Отсутствие смазки подшипников компрессора природного газа из-за выхода из строя маслонасоса - Износ подшипников	Температура опорной части опорно-упорного подшипника ЦНД компрессора природного газа более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост вибрации подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры опорной части ОП ЦНД компрессора природного газа	-ПАЗ-TIRAS-6;
2.4	Температура подшипников - БОЛЬШЕ	- Рост температуры подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры масла на выходе из маслоохладителя - Отсутствие смазки подшипников компрессора природного газа из-за выхода из строя маслонасоса - Износ подшипников	Температура опорного подшипника ЦНД компрессора природного газа более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост вибрации подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры ОП ЦНД в компрессоре природного газа	-ПАЗ-TIRAS-7;

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты
Характеристика - управляющее слово					
2.5	Вибрация вала со стороны ОП БОЛЬШЕ	<ul style="list-style-type: none"> - Рост вибрации подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры опорной части ОП ЦНД компрессора природного газа - Рост вибрации подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры ОП ЦНД в компрессоре природного газа 	Вибрация вала со стороны ОП ЦНД компрессора природного газа более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Нарушение герметичности компрессора природного газа из-за роста вибрации вала со стороны ОП ЦНД. Загазованность в компрессорной	-ПАЗ-ХЕ-5; -ПАЗ-ХЕ-6;
2.6	Вибрация вала со стороны ОУП БОЛЬШЕ	<ul style="list-style-type: none"> - Рост вибрации подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры нерабочей колодки ОУП ЦНД компрессора природного газа - Рост вибрации подшипников компрессора природного газа из-за роста температуры рабочей колодки ОУП ЦНД компрессора природного газа 	Вибрация вала со стороны ОУП ЦНД компрессора природного газа более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Нарушение герметичности компрессора природного газа из-за роста вибрации вала со стороны ОУП ЦНД. Загазованность в компрессорной	-ПАЗ-ХЕ-7; -ПАЗ-ХЕ-8;
Элемент 3. Турбина компрессора природного газа					
3.1	Температура ОУП БОЛЬШЕ	<ul style="list-style-type: none"> - Износ подшипников - Отсутствие смазки подшипников турбины компрессора природного газа из-за выхода из строя маслонасоса - Рост температуры подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста температуры масла 	Температура нерабочих колодок опорно-упорного подшипника турбины компрессора природного газа более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост вибрации подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста температуры	-ПАЗ-TIRAS-8;

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты
Характеристика - управляющее слово					
		на выходе из маслоохладителя		нерабочих колодок ОУП турбины компрессора природного газа	
3.2	Температура ОУП - БОЛЬШЕ	<ul style="list-style-type: none"> - Износ подшипников - Отсутствие смазки подшипников турбины компрессора природного газа из-за выхода из строя маслонасоса - Рост температуры подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста температуры масла на выходе из маслоохладителя 	Температура рабочих колодок опорно-упорного подшипника турбины компрессора природного газа более регламентированного	<ul style="list-style-type: none"> Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост вибрации подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста температуры рабочих колодок ОУП турбины компрессора природного газа 	-ПАЗ-TIRAS-9;
3.3	Температура подшипников - БОЛЬШЕ	<ul style="list-style-type: none"> - Износ подшипников - Отсутствие смазки подшипников турбины компрессора природного газа из-за выхода из строя маслонасоса - Рост температуры подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста температуры масла на выходе из маслоохладителя 	Температура опорной части ОУП турбины компрессора природного газа более регламентированного	<ul style="list-style-type: none"> Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост вибрации подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста температуры опорной части ОУП турбины компрессора природного газа 	-ПАЗ-TIRAS-10;
3.4	Температура ОП - БОЛЬШЕ	<ul style="list-style-type: none"> - Износ подшипников - Отсутствие смазки подшипников турбины компрессора природного газа из-за выхода из строя маслонасоса - Рост температуры подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста температуры масла 	Температура ОП турбины компрессора природного газа более регламентированного	<ul style="list-style-type: none"> Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост вибрации подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста температуры ОП 	-ПАЗ-TIRAS-11;

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты
Характеристика - управляющее слово					
		на выходе из маслоохладителя		турбины компрессора природного газа	
3.5	Частота вращения - БОЛЬШЕ	- Ошибка персонала при задании параметров частоты вращения турбины компрессора природного газа	Частота вращения турбины компрессора природного газа более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост вибрации подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста частоты вращения турбины компрессора природного газа	-ПАЗ-S-1;
3.6	Частота вращения - МЕНЬШЕ	- Ошибка персонала при задании параметров частоты вращения турбины компрессора природного газа	Частота вращения турбины компрессора природного газа менее регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост давления на нагнетании компрессора из-за снижения частоты вращения турбины компрессора природного газа	
3.7	Осевой сдвиг ротора турбины - ДРУГОЙ, ЧЕМ	- Нарушение работоспособности думмиса(разгрузочного поршня). Нарушение герметичности уплотнений	Осевой сдвиг ротора турбины компрессора природного газа отличается от регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост вибрации турбины компрессора природного газа из-за увеличения осевого сдвига турбины компрессора природного газа	-ПАЗ-ZIAS-1;

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты
Характеристика - управляющее слово					
3.8	Вибрация вала со стороны ОУП - БОЛЬШЕ	<ul style="list-style-type: none"> - Рост вибрации подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста температуры нерабочих колодок ОУП турбины компрессора природного газа - Рост вибрации подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста частоты вращения турбины компрессора природного газа - Рост вибрации подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста температуры рабочих колодок ОУП турбины компрессора природного газа - Рост вибрации подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста температуры опорной части ОУП турбины компрессора природного газа - Рост вибрации турбины компрессора природного газа из-за увеличения осевого сдвига турбины компрессора природного газа 	Вибрация вала со стороны ОУП турбины компрессора природного газа более регламентированного	<p>Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Выход из строя турбины компрессора природного газа из-за увеличения вибрации вала турбины компрессора природного газа со стороны ОУП</p>	-ПАЗ-ХЕ-9; -ПАЗ-ХЕ-10;
3.9	Вибрация вала со стороны ОП - БОЛЬШЕ	<ul style="list-style-type: none"> - Рост вибрации подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста температуры ОП турбины компрессора природного газа 	Вибрация вала со стороны ОП турбины компрессора природного газа более регламентированного	<p>Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация</p>	-ПАЗ-ХЕ-11; -ПАЗ-ХЕ-12;

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты
Характеристика - управляющее слово					
		<ul style="list-style-type: none"> - Рост вибрации турбины компрессора природного газа из-за увеличения осевого сдвига турбины компрессора природного газа - Рост вибрации подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста частоты вращения турбины компрессора природного газа 		Выход из строя турбины компрессора природного газа из-за увеличения вибрации вала турбины компрессора природного газа со стороны ОП	
3.10	Работоспособность - ОТСУТСТ ВУЕТ	<ul style="list-style-type: none"> - Выход из строя турбины компрессора природного газа из-за увеличения вибрации вала турбины компрессора природного газа со стороны ОУП - Выход из строя турбины компрессора природного газа из-за увеличения вибрации вала турбины компрессора природного газа со стороны ОП 	Работоспособность турбины компрессора природного газа отсутствует	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Выход из строя турбины компрессора природного газа. Простой в течение 1 недели.	
Элемент 4. Маслоохладитель					
4.1	Температура масла - БОЛЬШЕ	<ul style="list-style-type: none"> - Теплое время года - Ошибка персонала при регулировании подачи оборотной воды 	Температура масла на выходе из маслоохладителя более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост температуры подшипников компрессора природного газа из-за	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты
Характеристика - управляющее слово					
				роста температуры масла на выходе из маслоохладителя Продолжение 1 Рост температуры подшипников турбины компрессора природного газа из-за роста температуры масла на выходе из маслоохладителя	
4.2	Температура масла - МЕНЬШЕ	- Причины отсутствуют	Температура масла на выходе из маслоохладителя менее регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Без опасных последствий	
Элемент 5. Главный масляный насос					
5.1	Температура подшипников - БОЛЬШЕ	- Износ подшипников - Отсутствие смазки подшипника (ошибка персонала)	Температура подшипников насоса более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост вибрации насоса из-за выхода из строя подшипников насоса	
5.2	Температура подшипников - БОЛЬШЕ	- Износ подшипников - Отсутствие смазки подшипника (ошибка персонала)	Температура подшипников электродвигателя насоса более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Рост вибрации насоса из-за выхода из строя подшипников электродвигателя насоса	

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты
Характеристика - управляющее слово					
5.3	Температура обмоток электродвигателя - БОЛЬШЕ	- Выход из строя вентилятора на обдув ротора и статора насоса	Температура обмоток электродвигателя насоса более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Снижение работоспособности насоса из-за роста температуры обмоток электродвигателя насоса	
5.4	Вибрация - БОЛЬШЕ	- Рост вибрации насоса из-за выхода из строя подшипников насоса - Рост вибрации насоса из-за выхода из строя подшипников электродвигателя насоса	Вибрация насоса более регламентированного	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Снижение работоспособности маслонасоса из-за выхода из строя маслонасоса при повышенной вибрации	
5.5	Герметичность уплотнений - НЕ ИЛИ НЕТ	- Выход из строя уплотнений насоса	Герметичность уплотнений насоса отличается от регламентированных значений	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация Падение давления на нагнетании насоса из-за нарушения герметичности торцевого уплотнения насоса	
5.6	Работоспособность насоса - ОТСУТСТВУЕТ	- Снижение работоспособности насоса из-за роста температуры обмоток электродвигателя насоса - Падение давления на нагнетании насоса из-за нарушения	Работоспособность насоса отсутствует	Безопасность Без опасных последствий Экология Без опасных последствий Эксплуатация	-ПАЗ-PIRAS-1;

Элемент		Причины	Отклонение	Последствие	Системы защиты
Характеристика - управляющее слово					
		герметичности торцевого уплотнения насоса - Снижение работоспособности маслонасоса из-за выхода из строя маслонасоса при повышенной вибрации		Отсутствие смазки подшипников турбины компрессора природного газа из-за выхода из строя маслонасоса Продолжение 1 Отсутствие смазки подшипников компрессора природного газа из-за выхода из строя маслонасоса	

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
ДЕРЕВЬЯ ОТКАЗОВ

Деревья отказов для участка установки очистки дизельного топлива

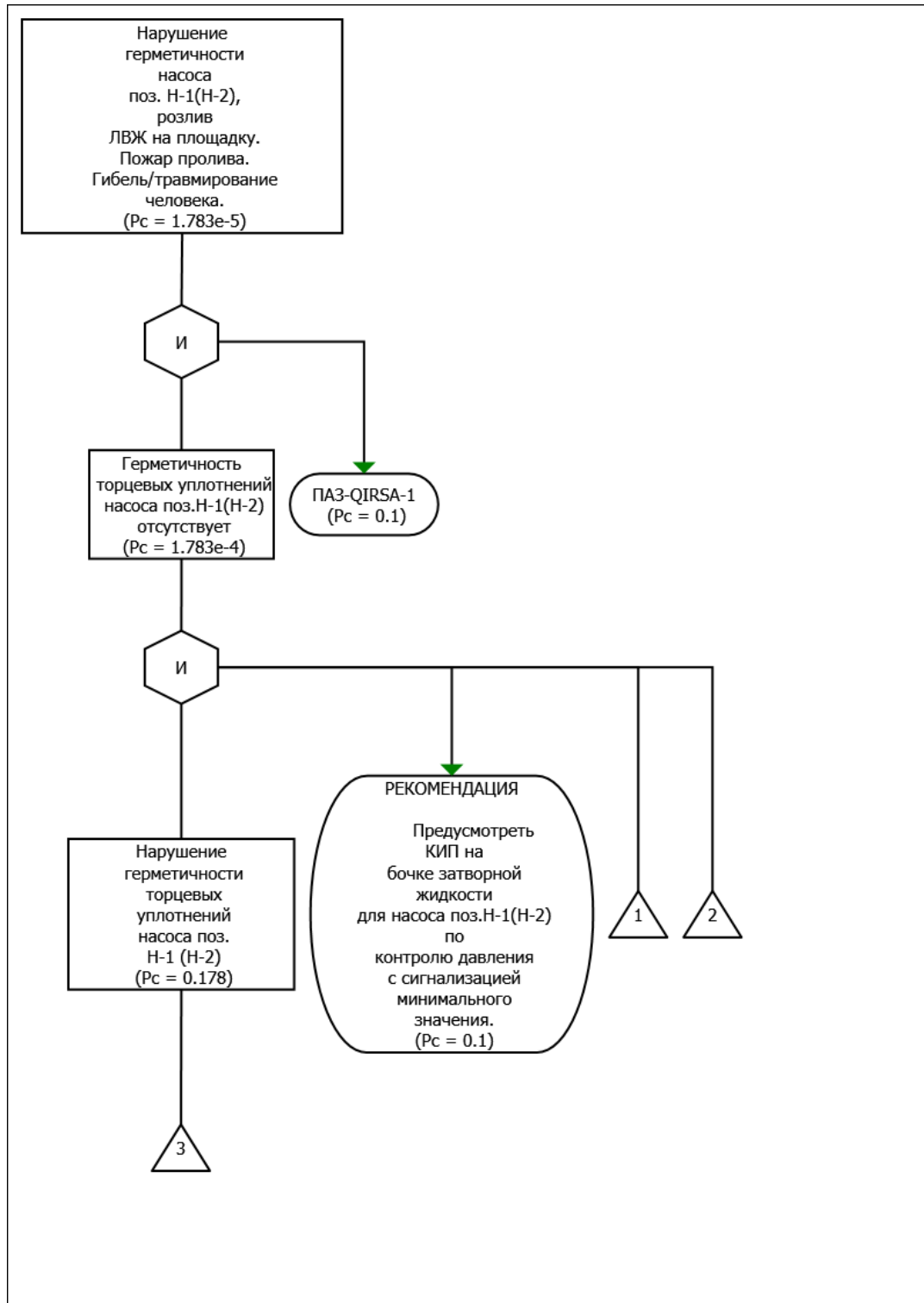


Рисунок 25 – Дерево отказов для события «Нарушение герметичности насоса поз. Н-1 (Н-2), розлив ЛВЖ на площадку. Пожар пролива. Гибель/травмирование персонала», лист 1

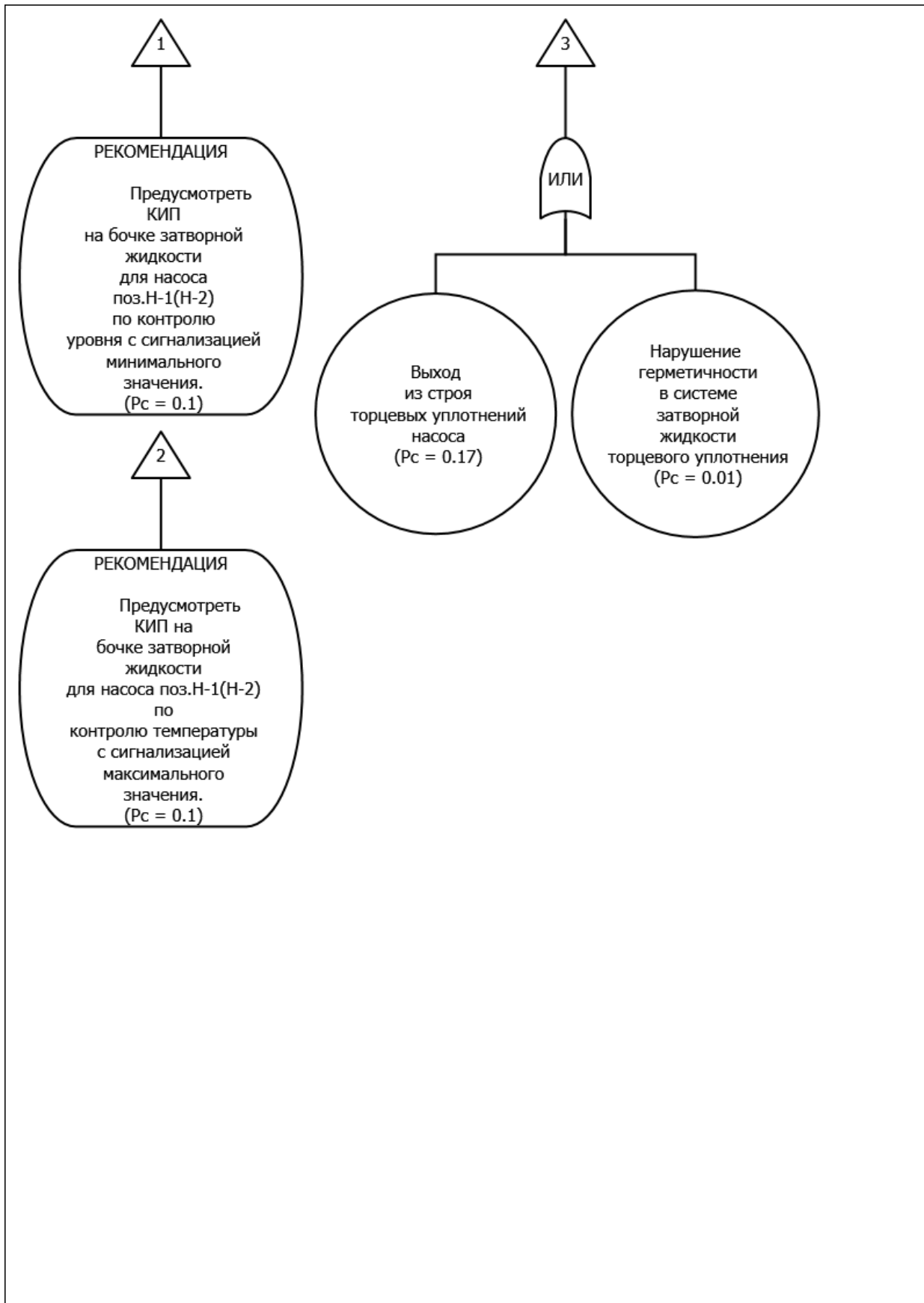


Рисунок 25 – Дерево отказов для события «Нарушение герметичности насоса поз. Н-1 (Н-2), розлив ЛВЖ на площадку. Пожар пролива. Гибель/травмирование персонала», лист 2

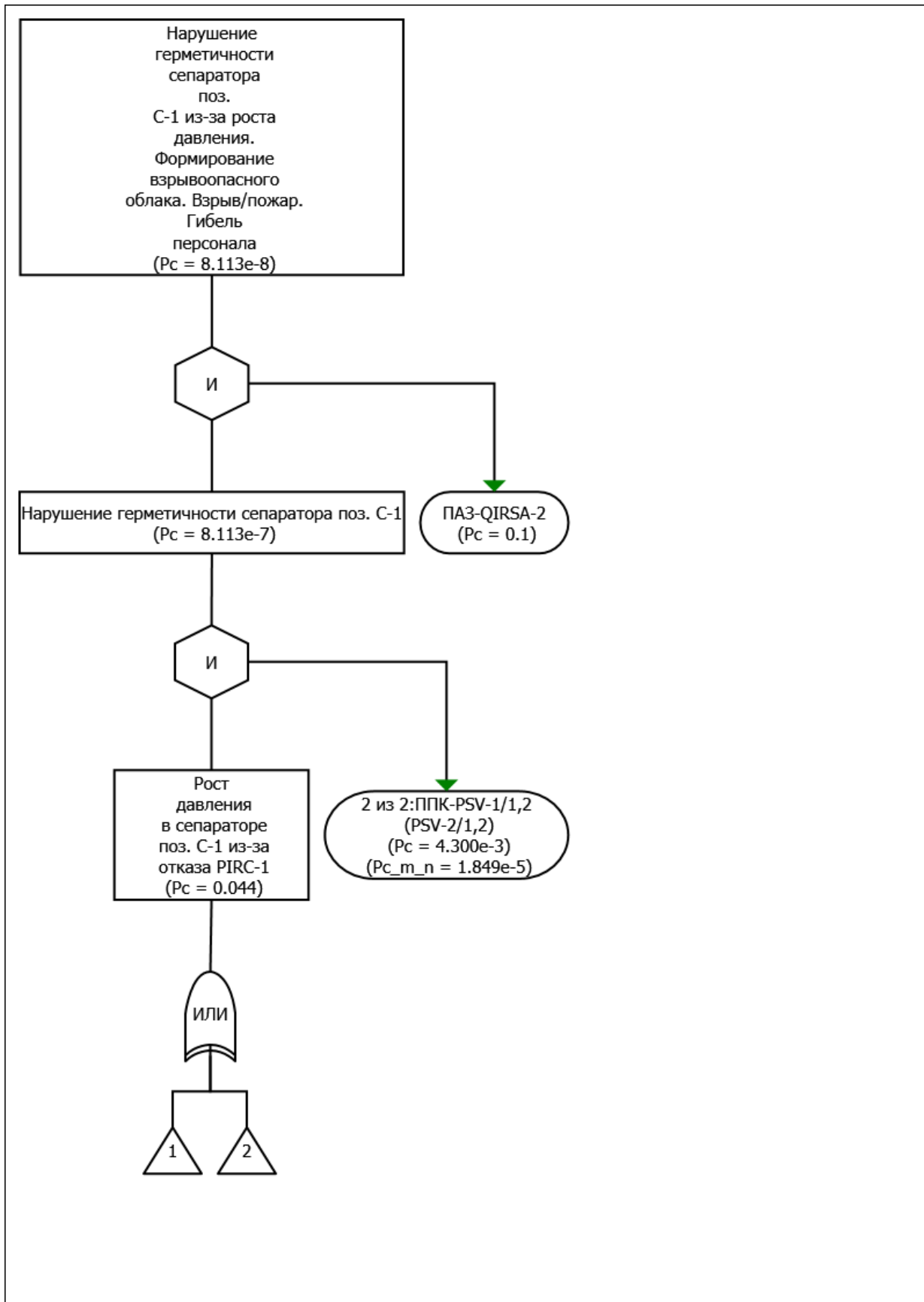


Рисунок 26 – Дерево отказов для события «Нарушение герметичности сепаратора поз. С-1 из-за роста давления. Формирование взрывоопасного облака. Взрыв/пожар. Гибель персонала», лист 1

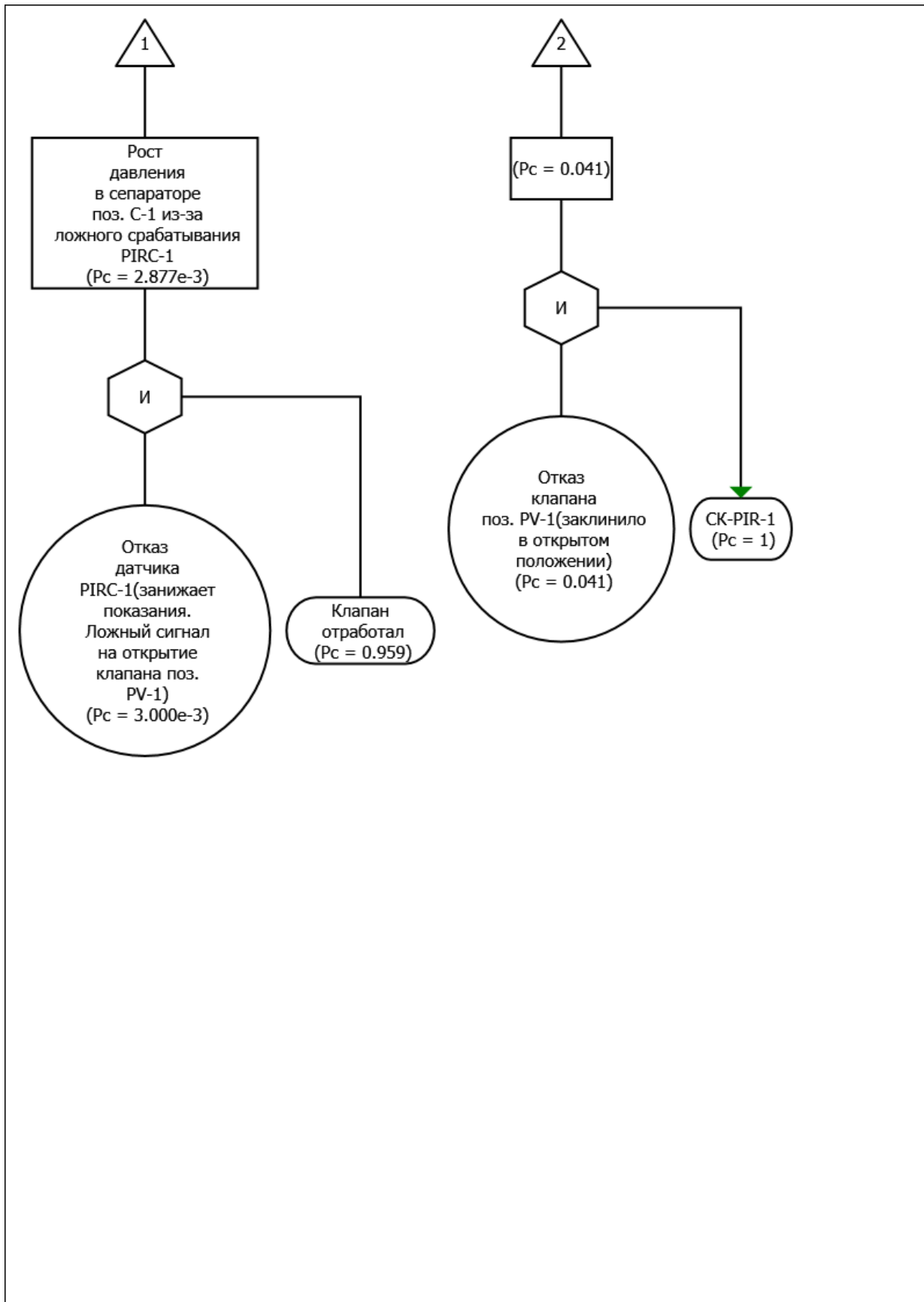


Рисунок 26 – Дерево отказов для события «Нарушение герметичности сепаратора поз. С-1 из-за роста давления. Формирование взрывоопасного облака.

Взрыв/пожар. Гибель персонала», лист 2

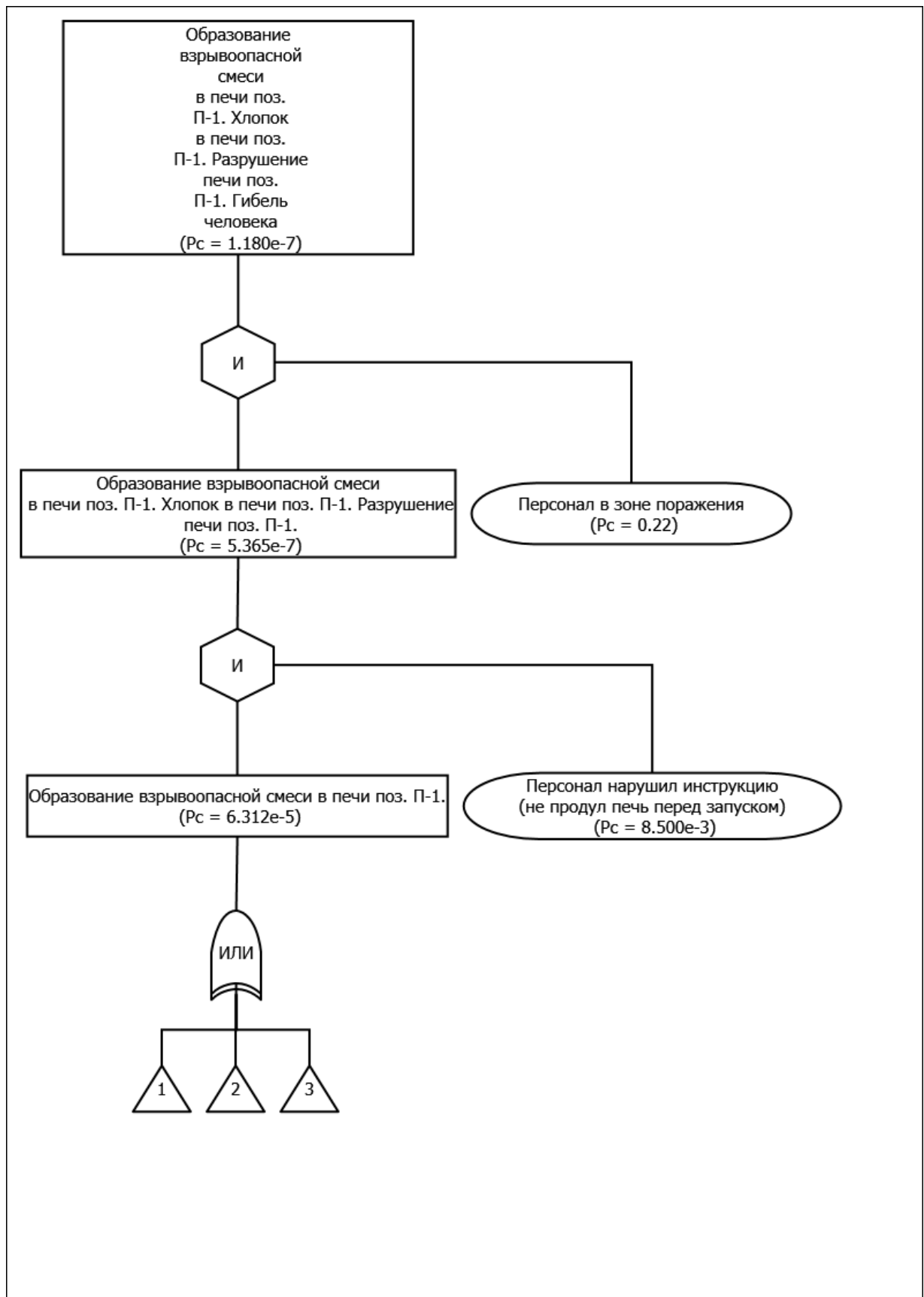


Рисунок 27 – Дерево отказов для события «Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека», лист 1

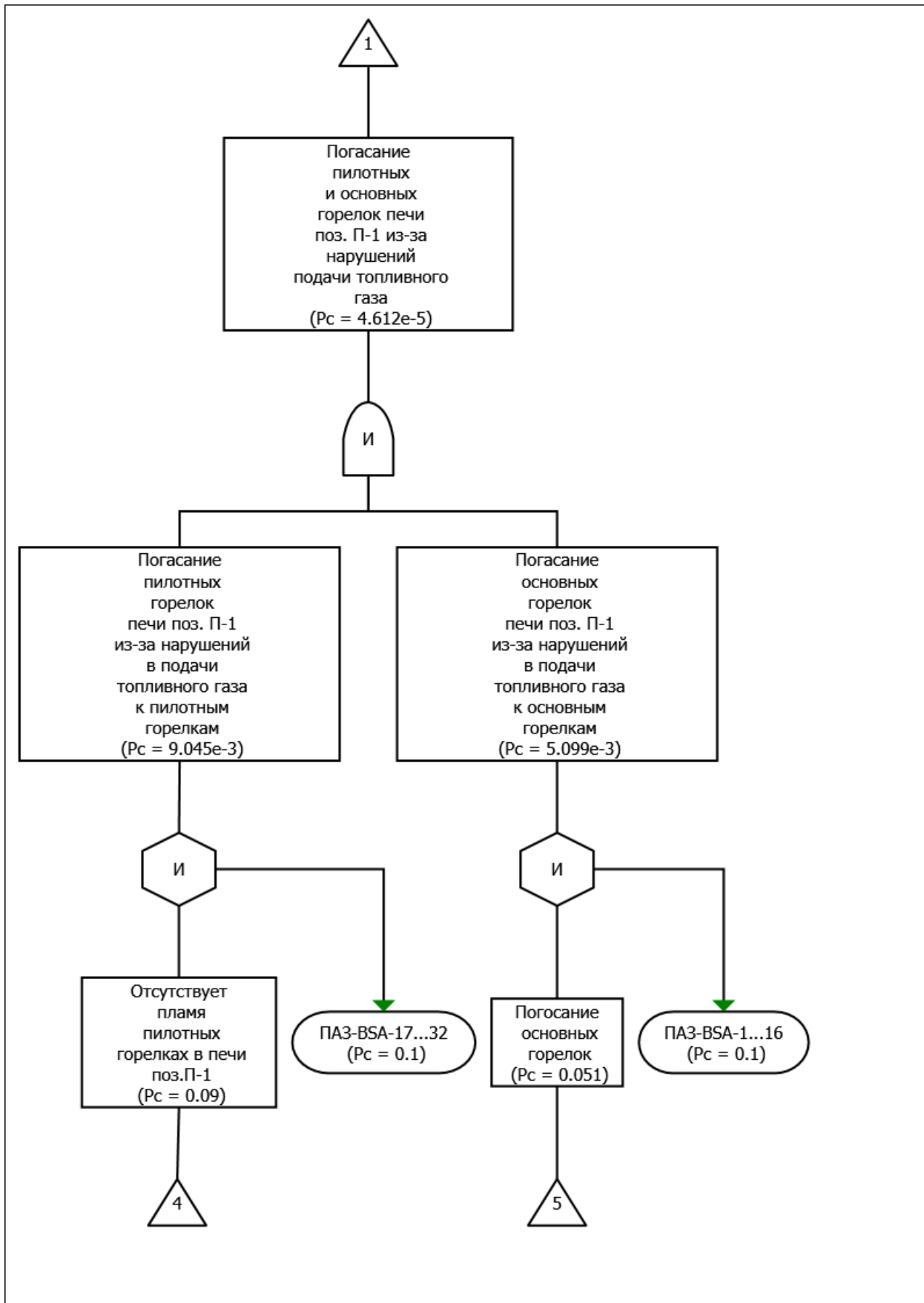


Рисунок 27 – Дерево отказов для события «Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека», лист 2

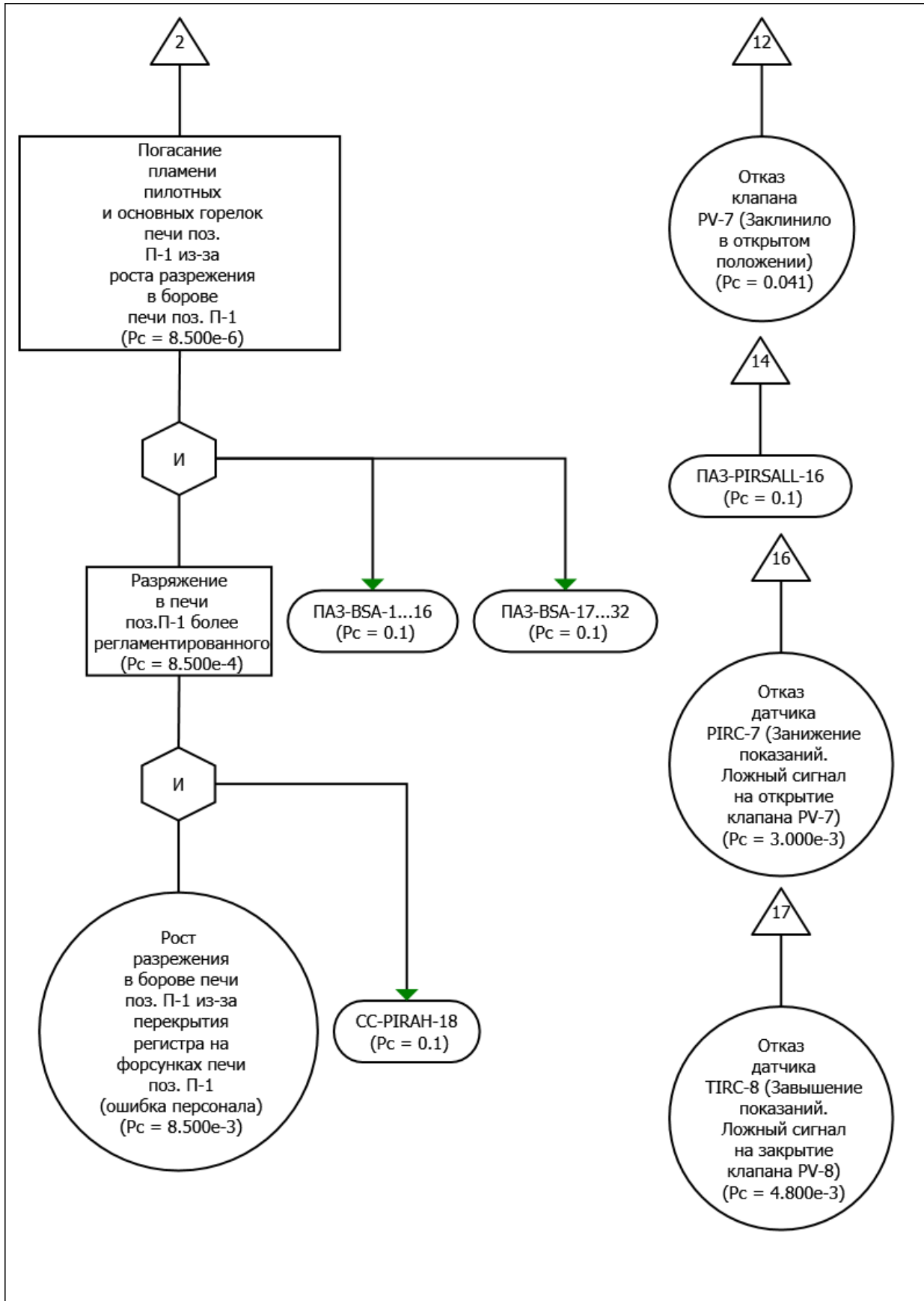


Рисунок 27 – Дерево отказов для события «Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека», лист 3

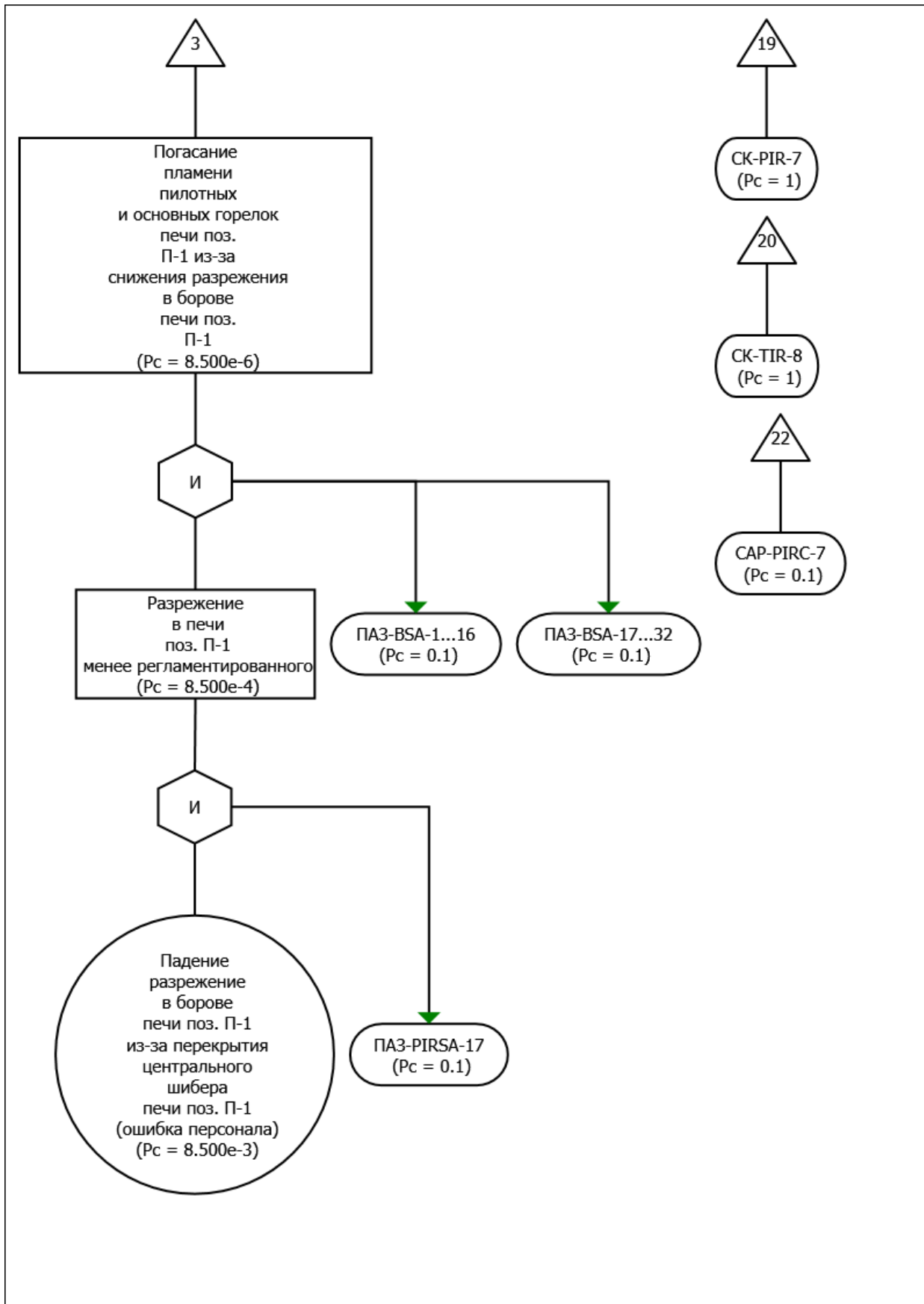


Рисунок 27 – Дерево отказов для события «Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека», лист 4

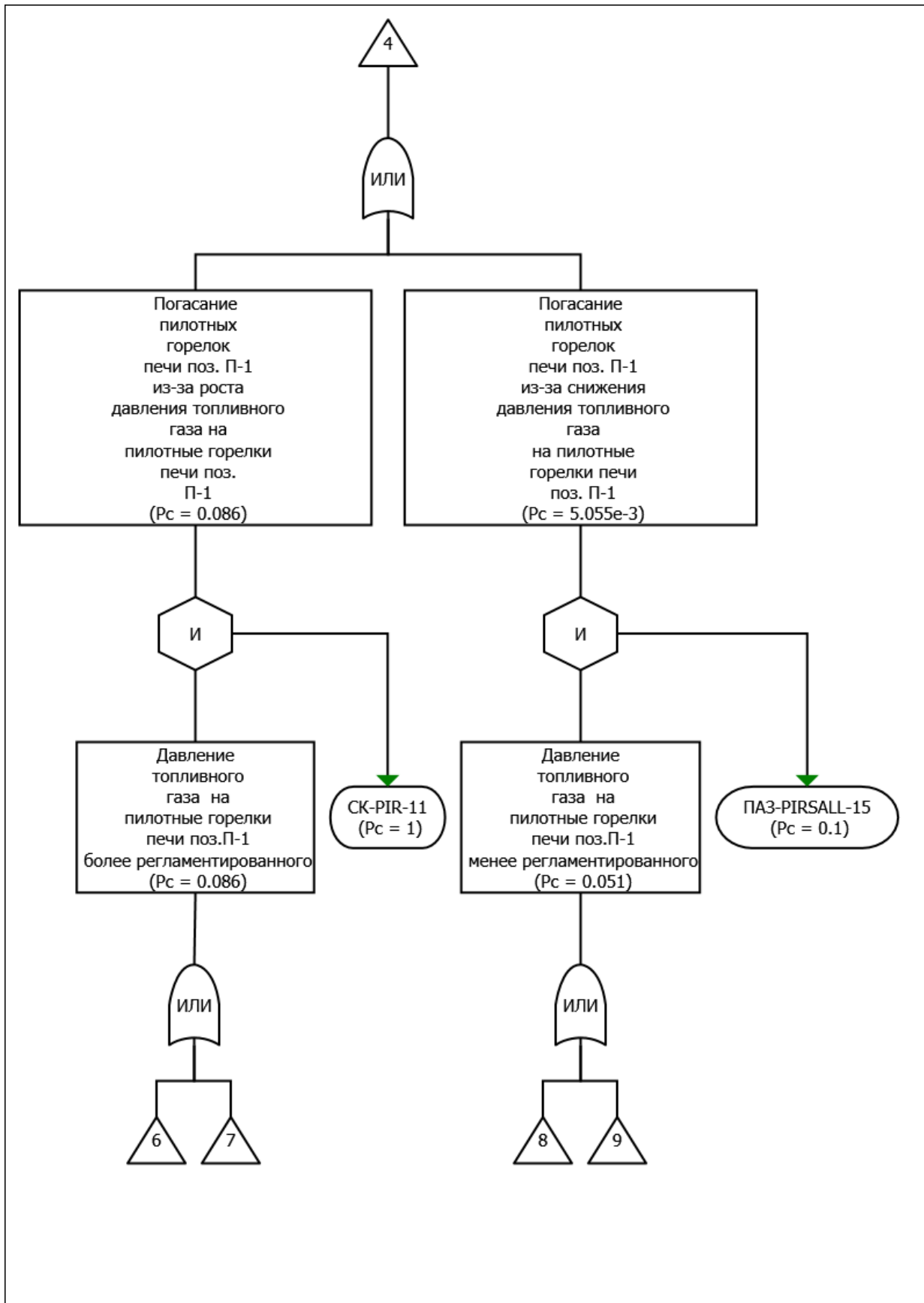


Рисунок 27 – Дерево отказов для события «Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека», лист 5

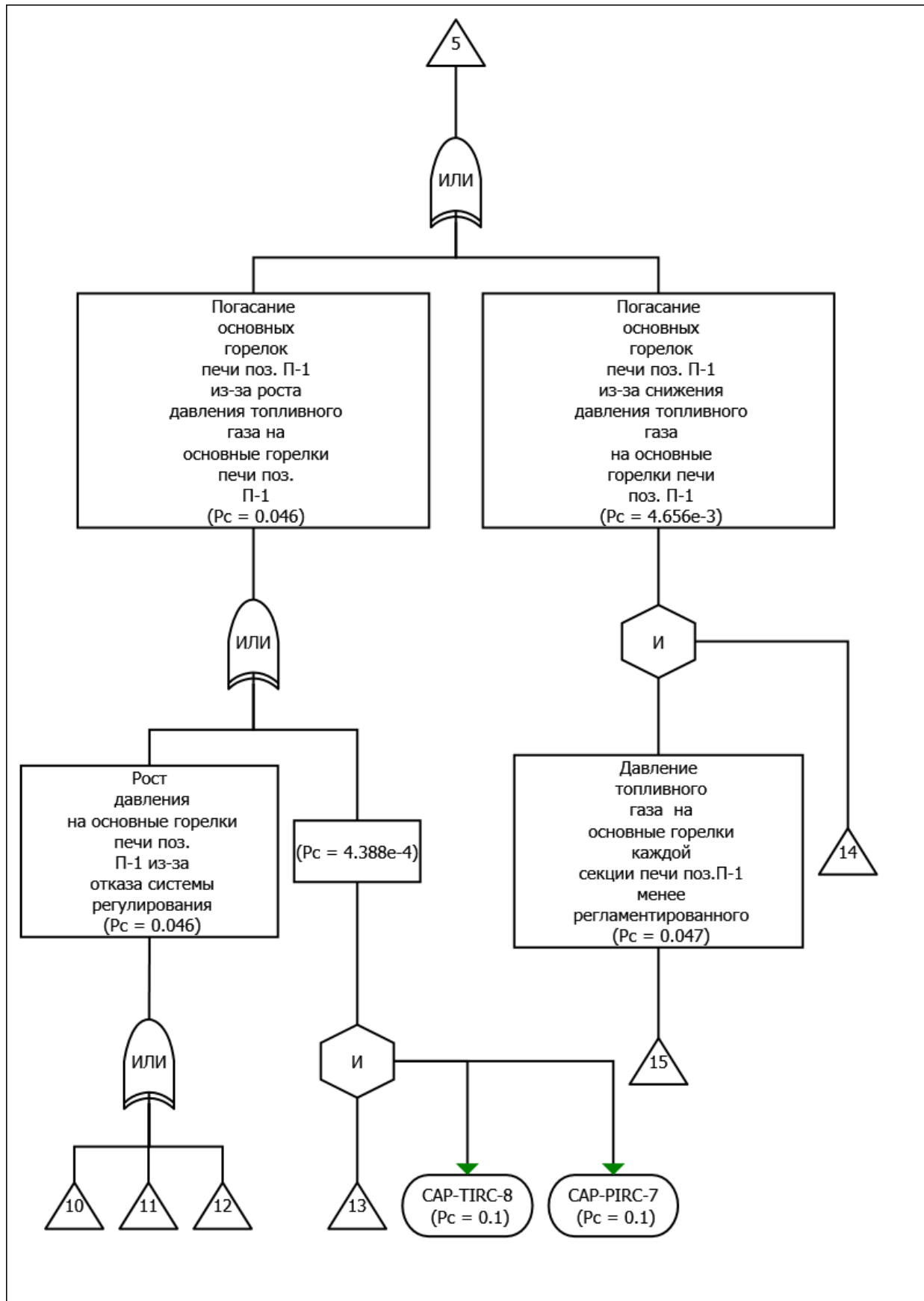


Рисунок 27 – Дерево отказов для события «Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека», лист 6

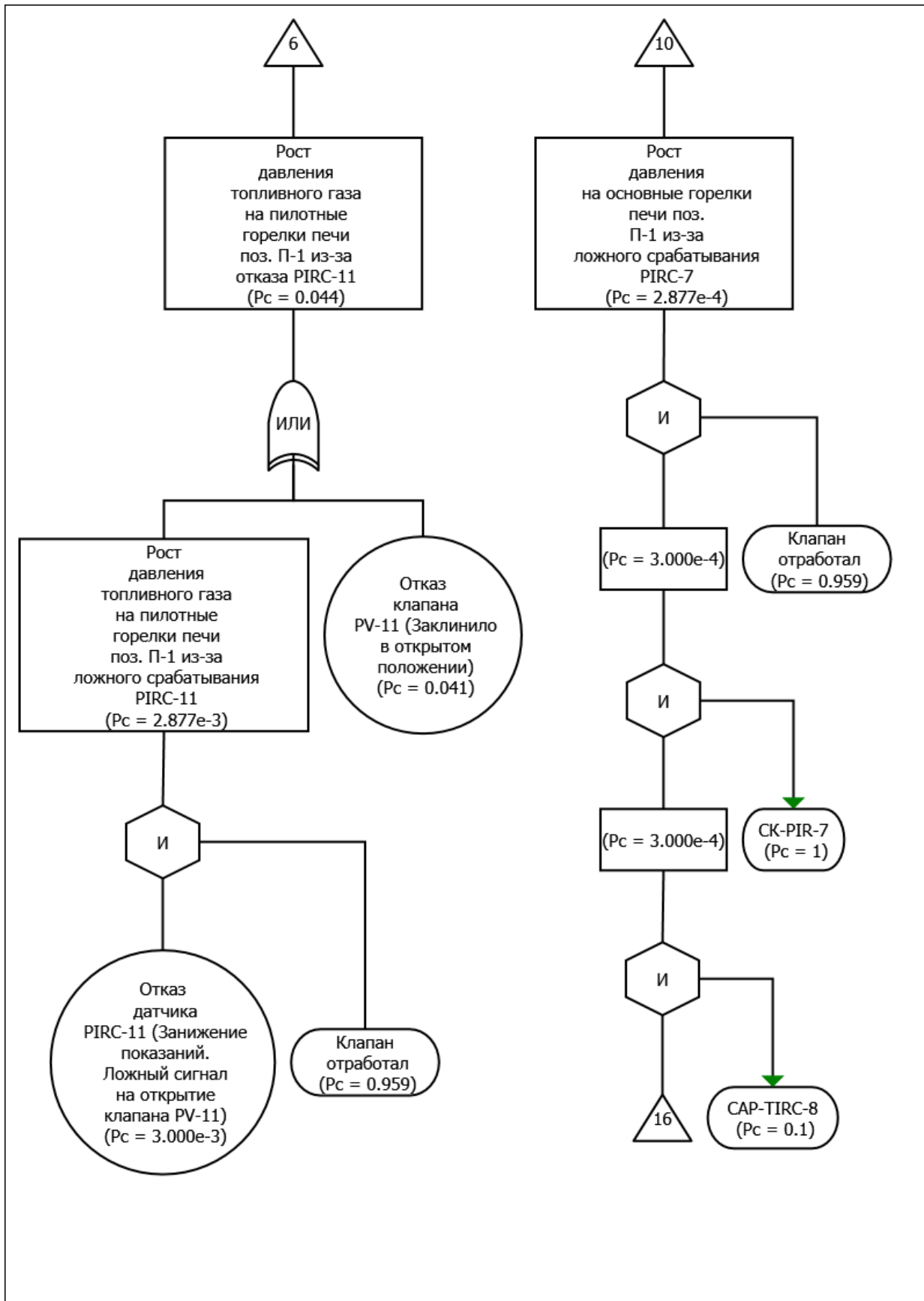


Рисунок 27 – Дерево отказов для события «Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека», лист 7

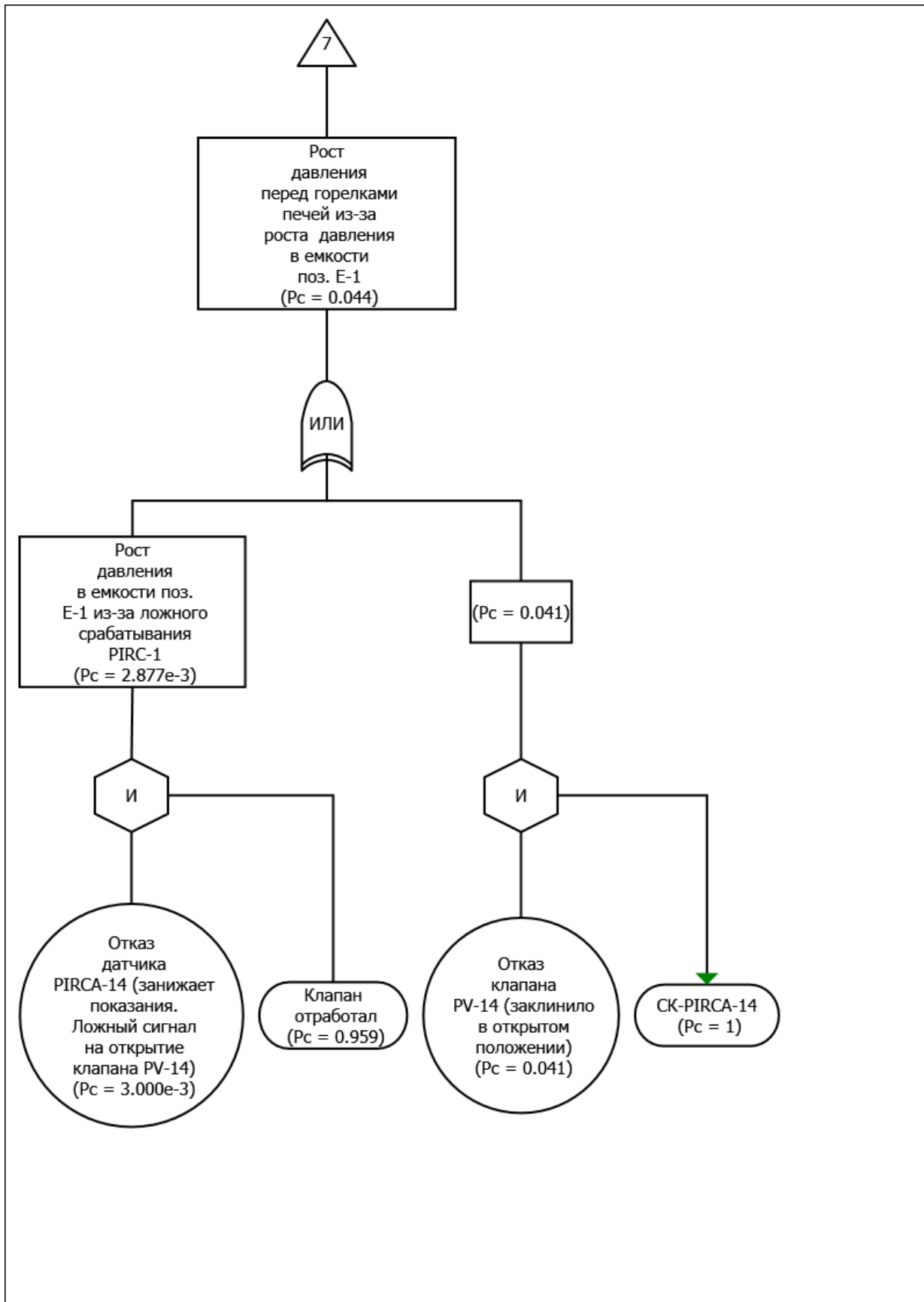


Рисунок 27 – Дерево отказов для события «Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека», лист 8

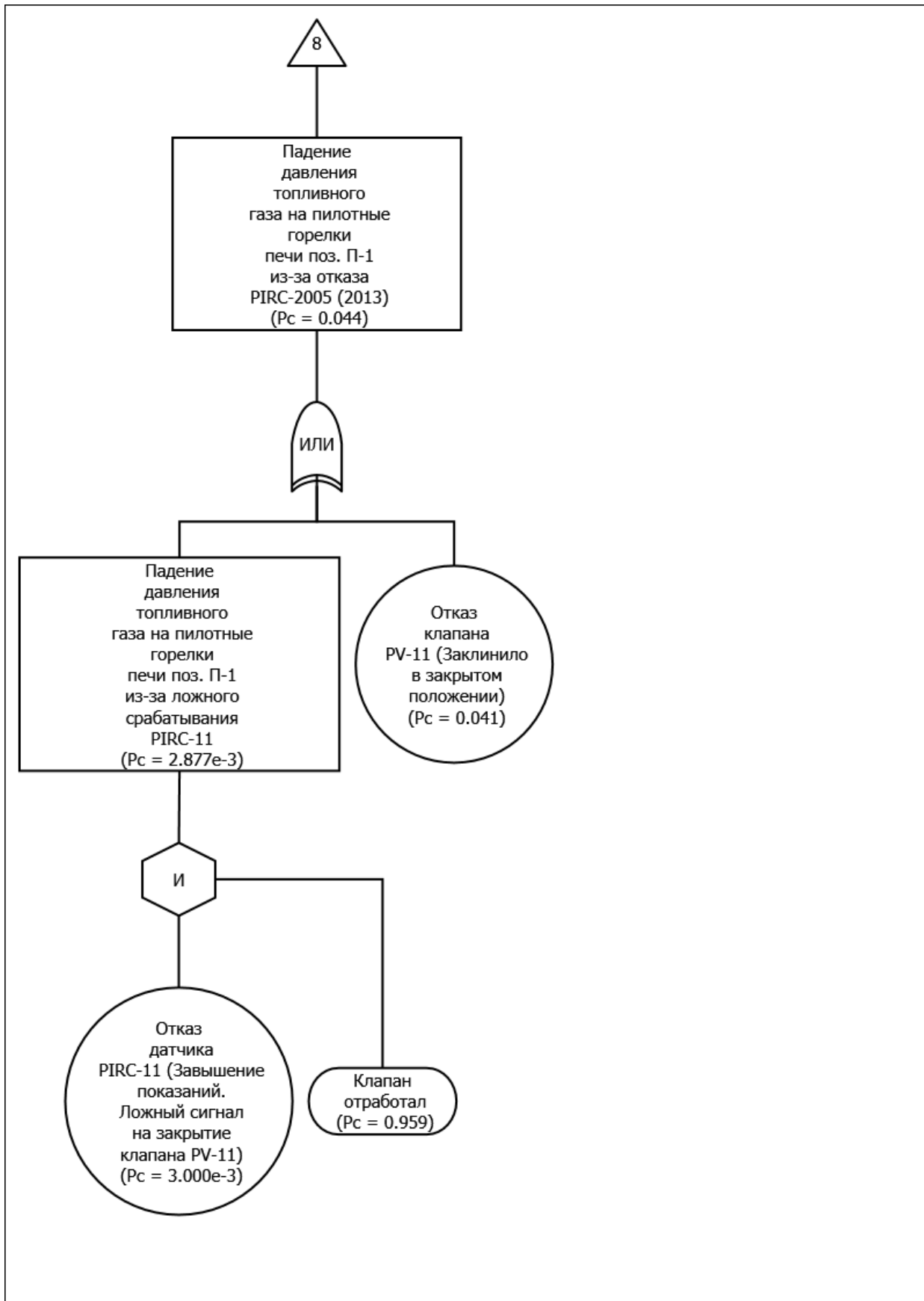


Рисунок 27 – Дерево отказов для события «Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека», лист 9

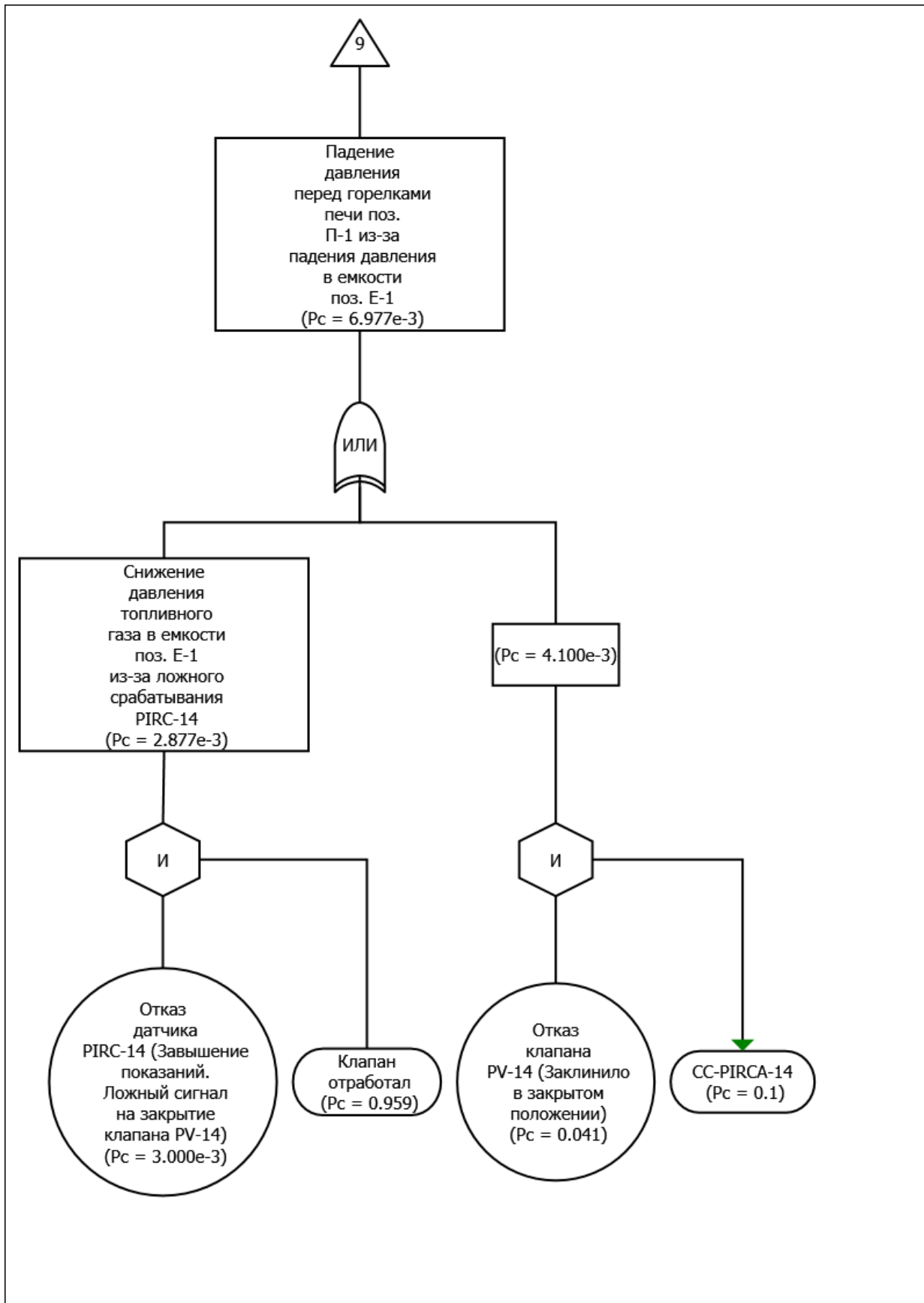


Рисунок 27 – Дерево отказов для события «Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека», лист 10

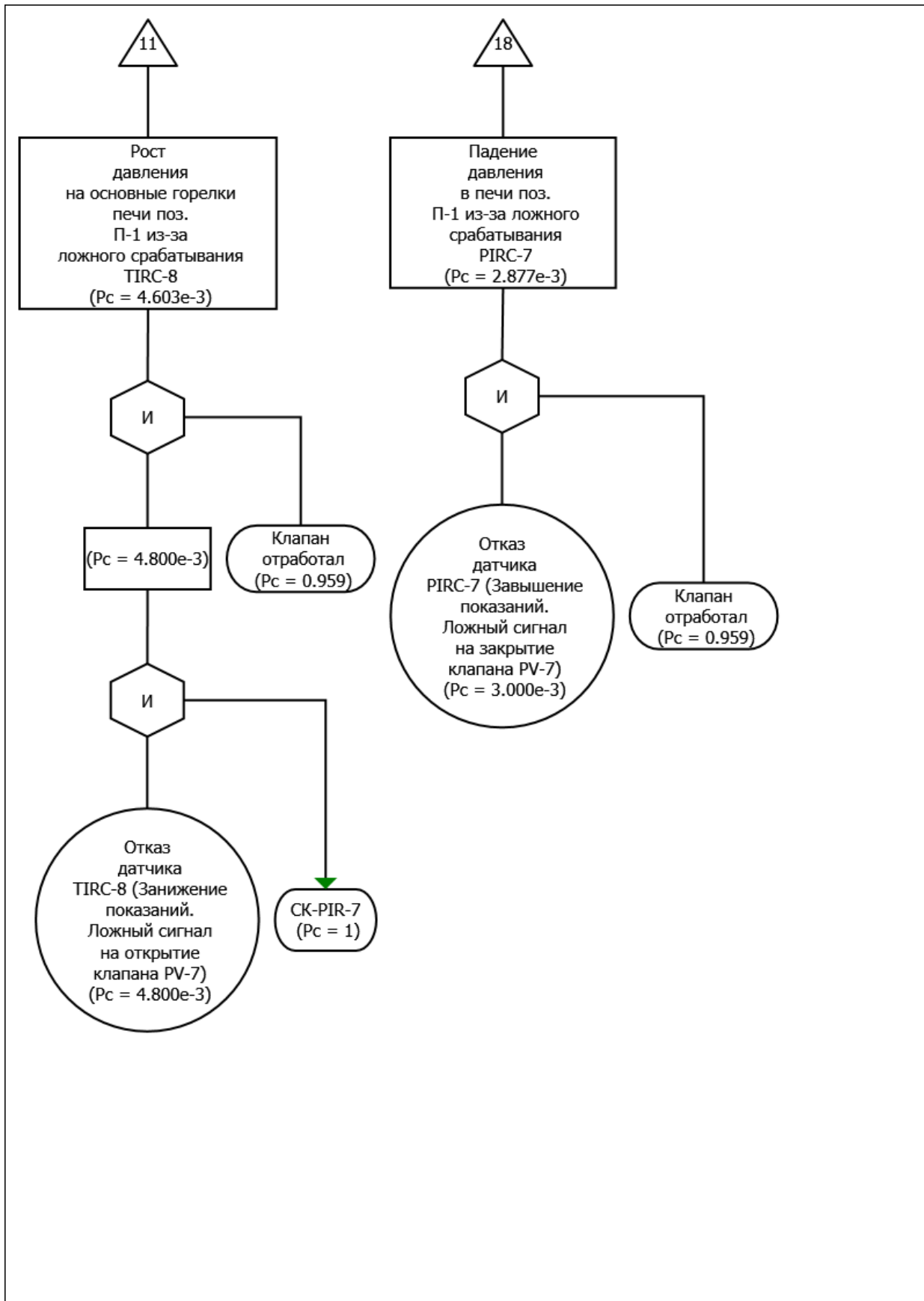


Рисунок 27 – Дерево отказов для события «Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека», лист 11

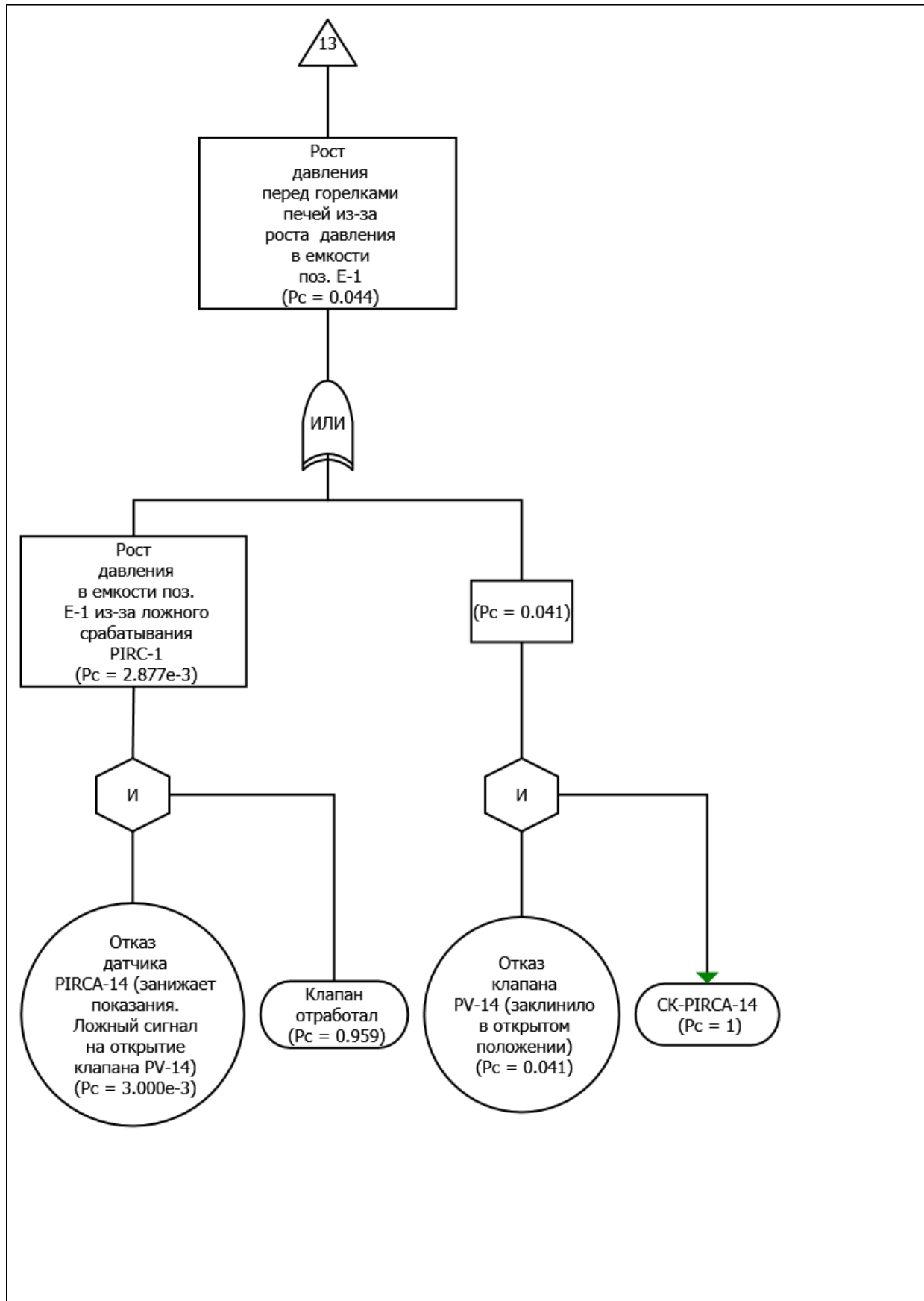


Рисунок 27 – Дерево отказов для события «Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека», лист 12

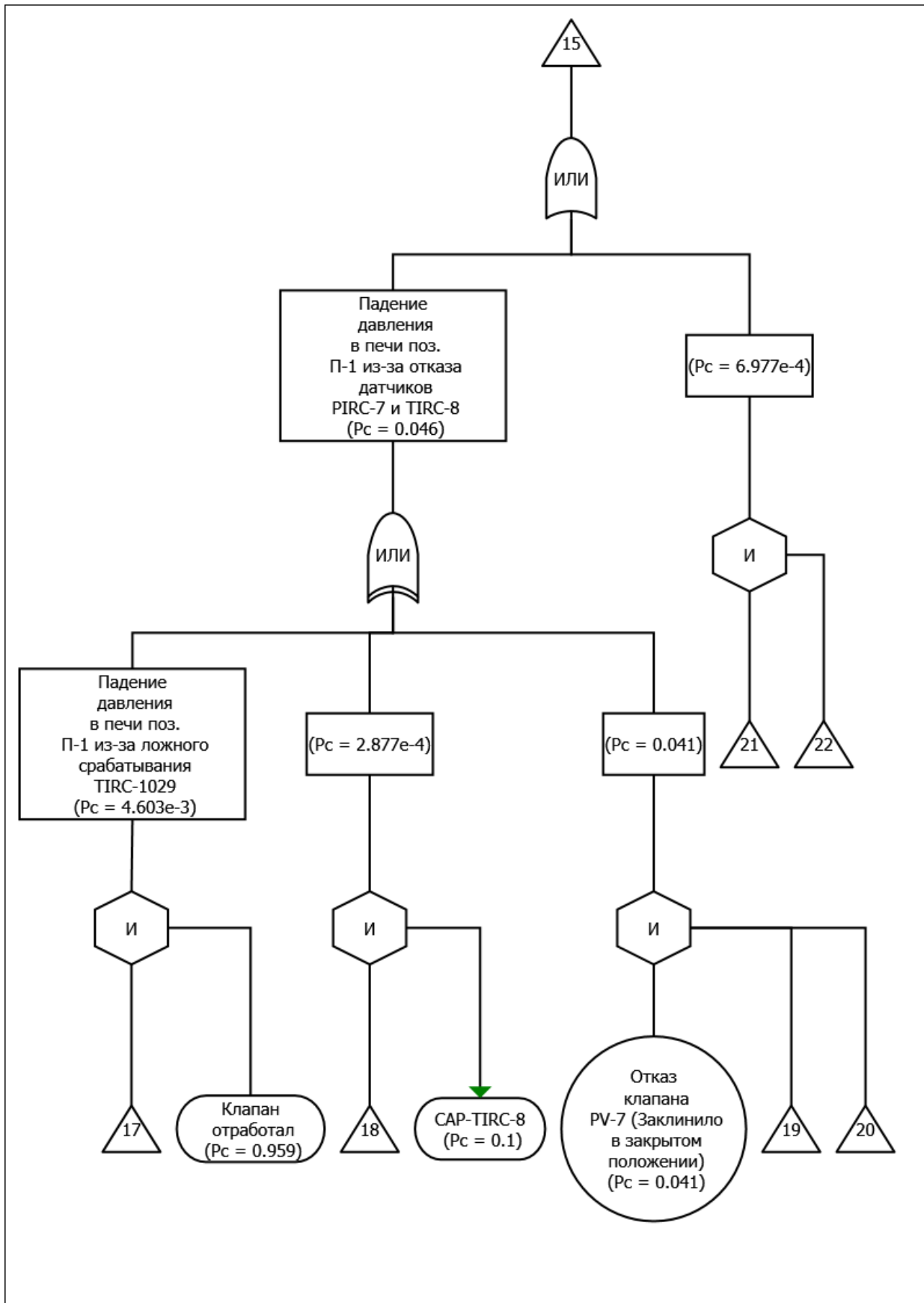


Рисунок 27 – Дерево отказов для события «Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека», лист 13

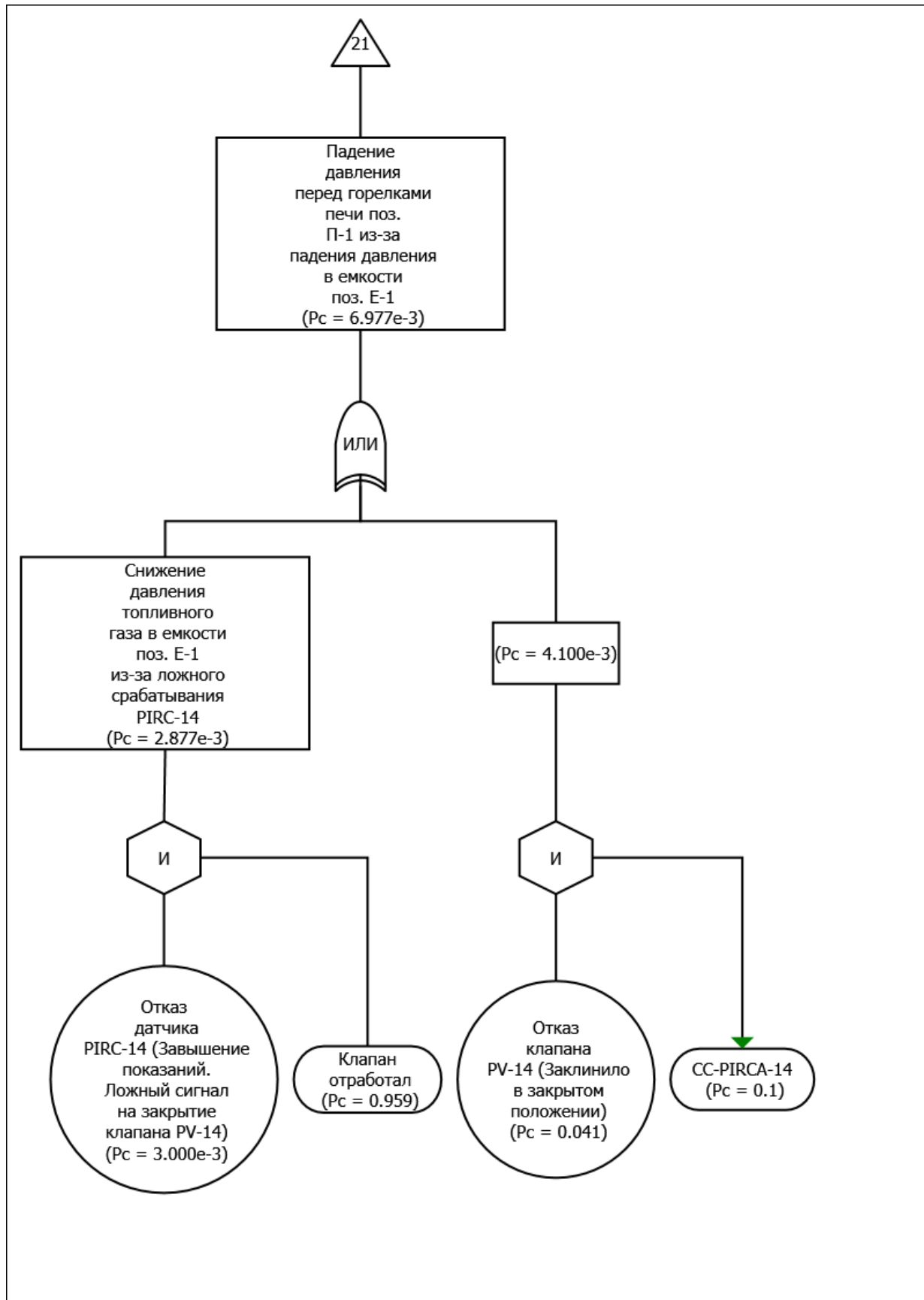


Рисунок 27 – Дерево отказов для события «Образование взрывоопасной смеси в печи поз. П-1. Хлопок в печи поз. П-1. Разрушение печи поз. П-1. Гибель человека», лист 14

Деревья отказов для компрессора природного газа

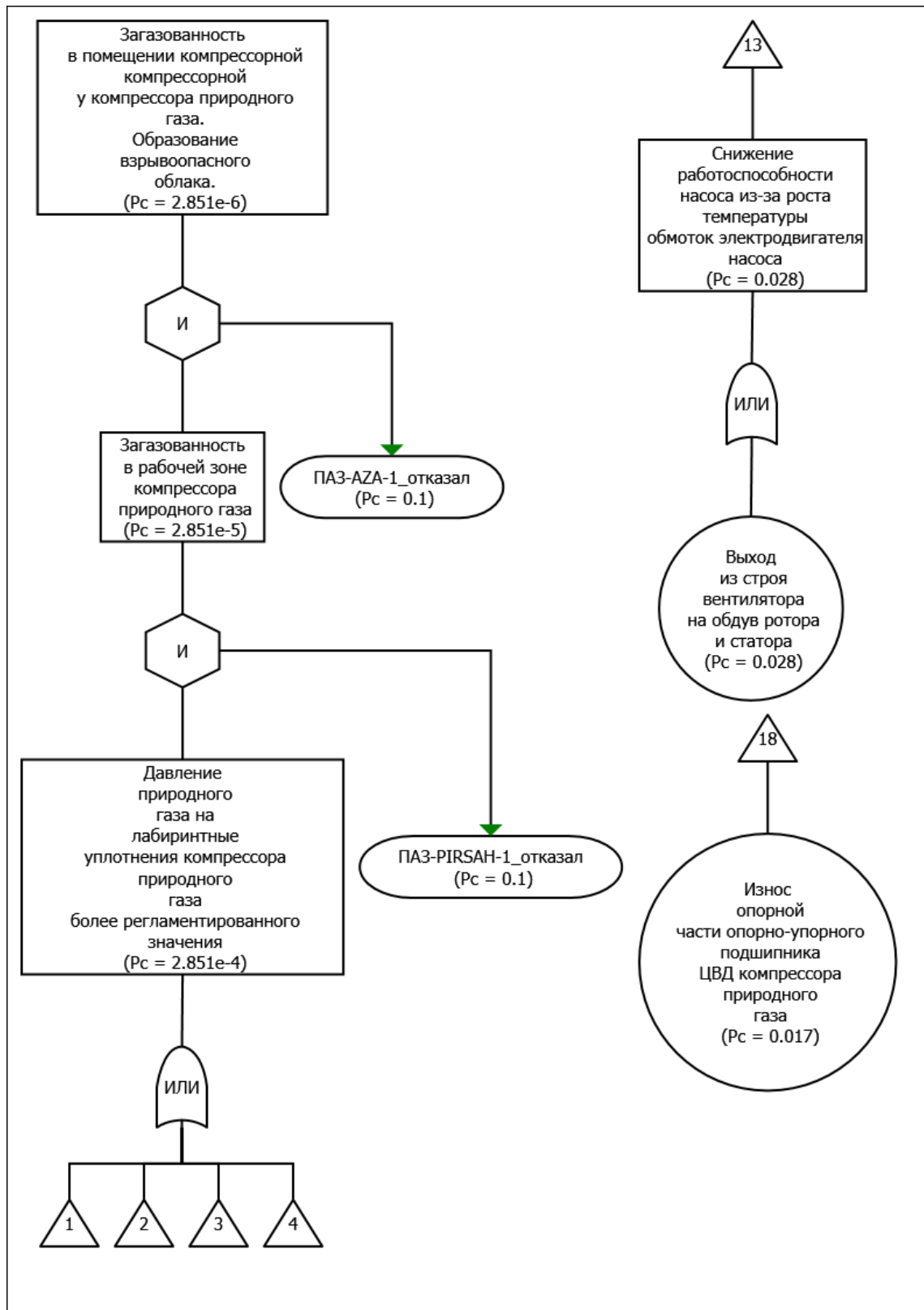


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 1

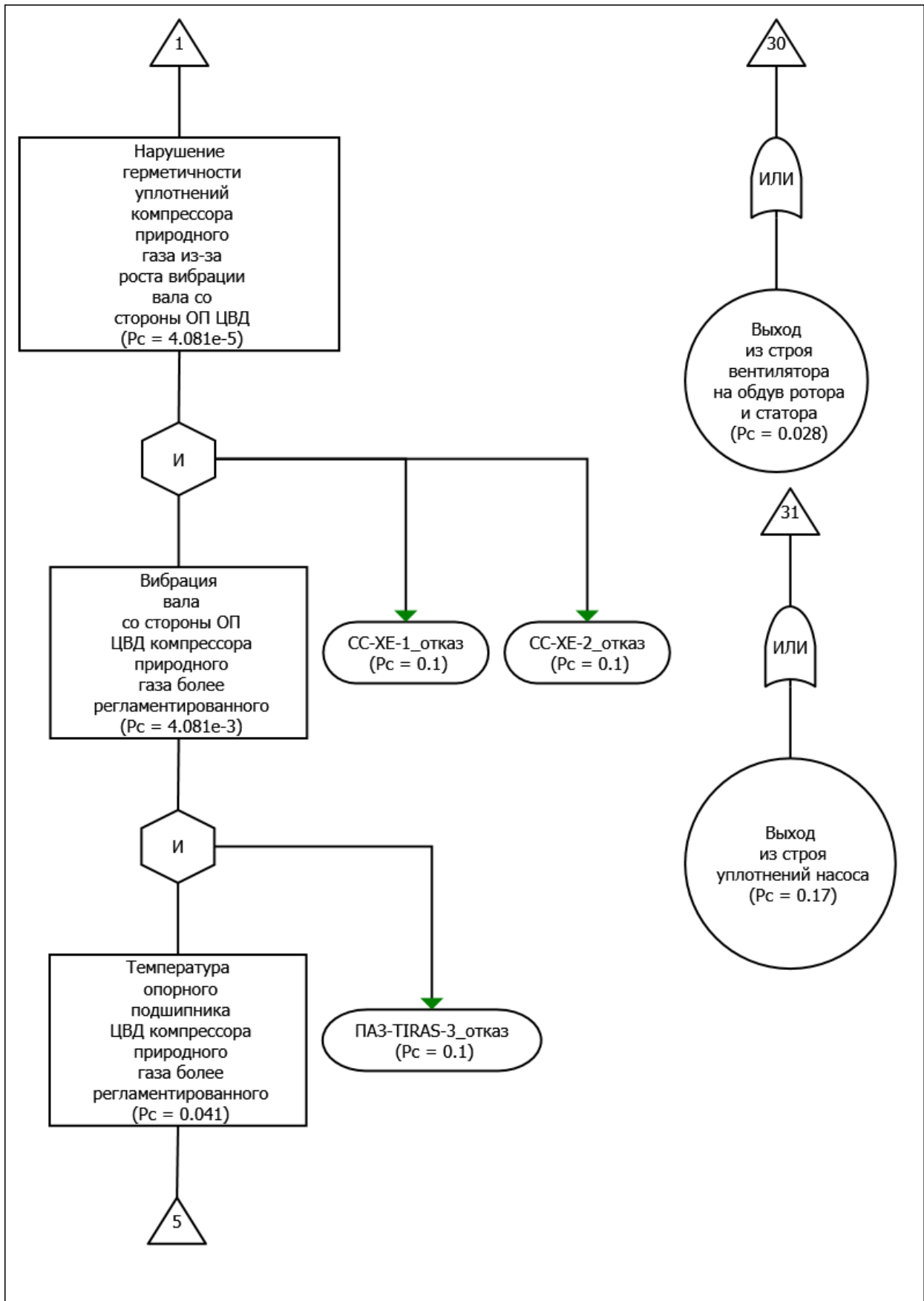


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 2

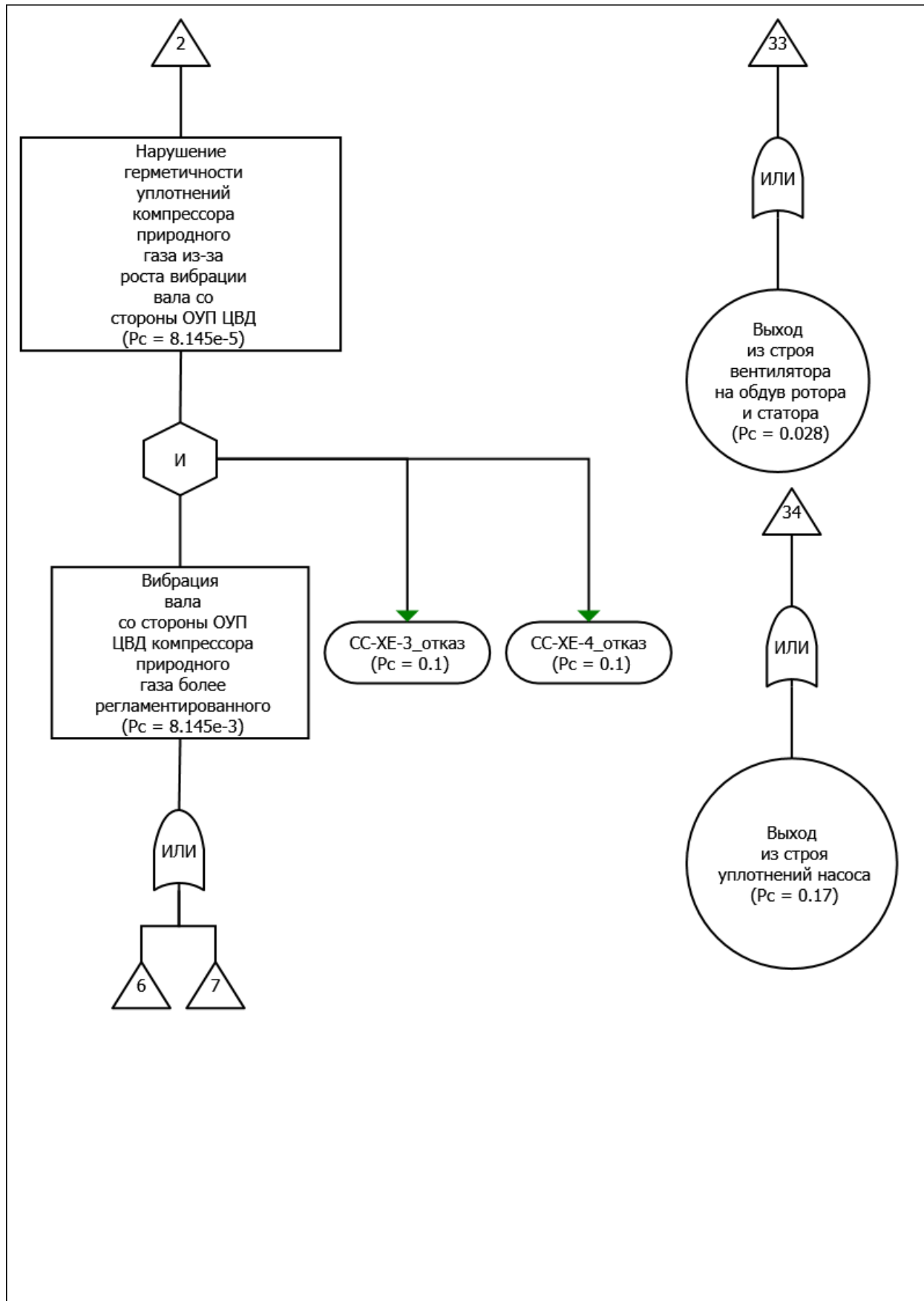


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 3

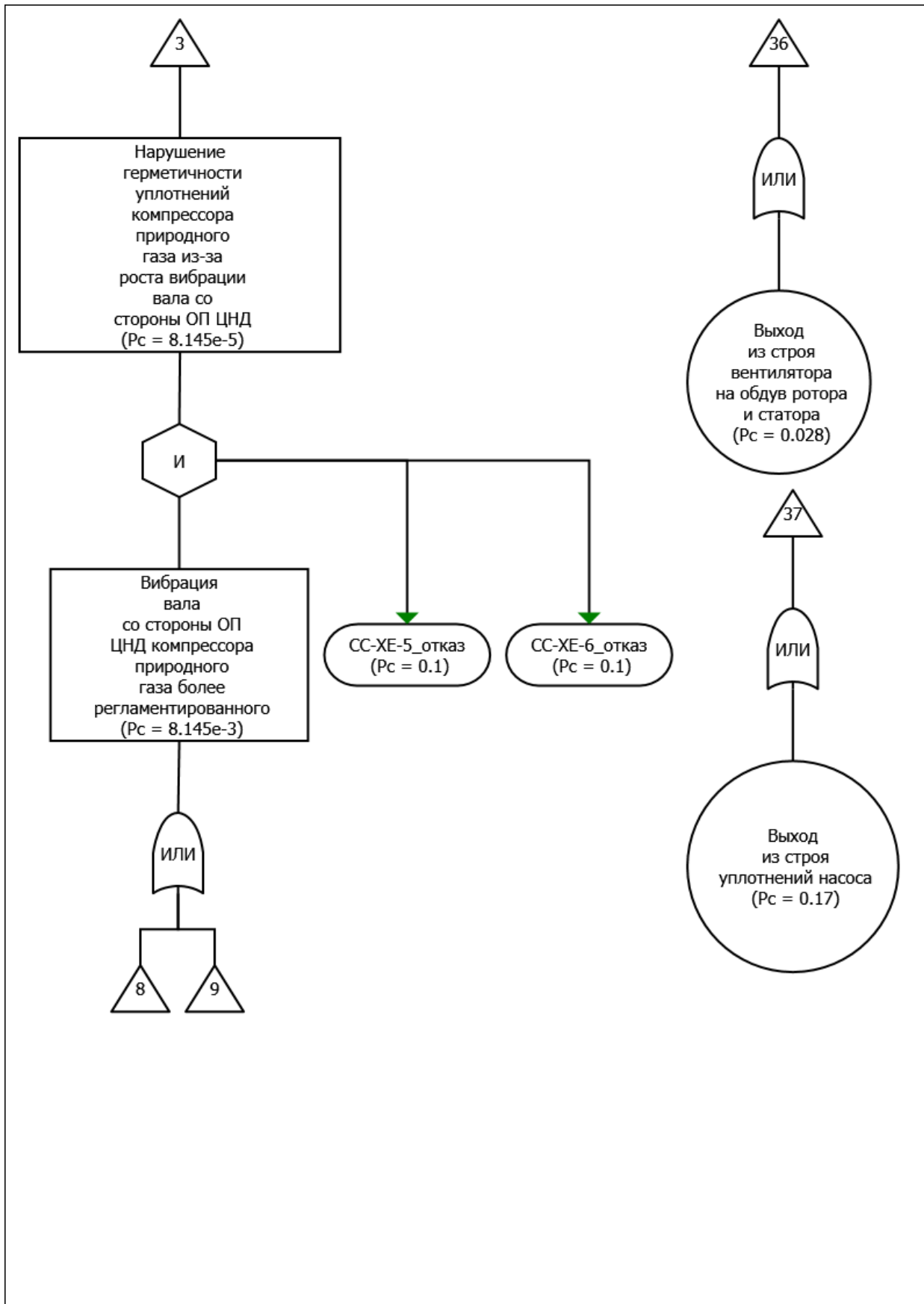


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 4

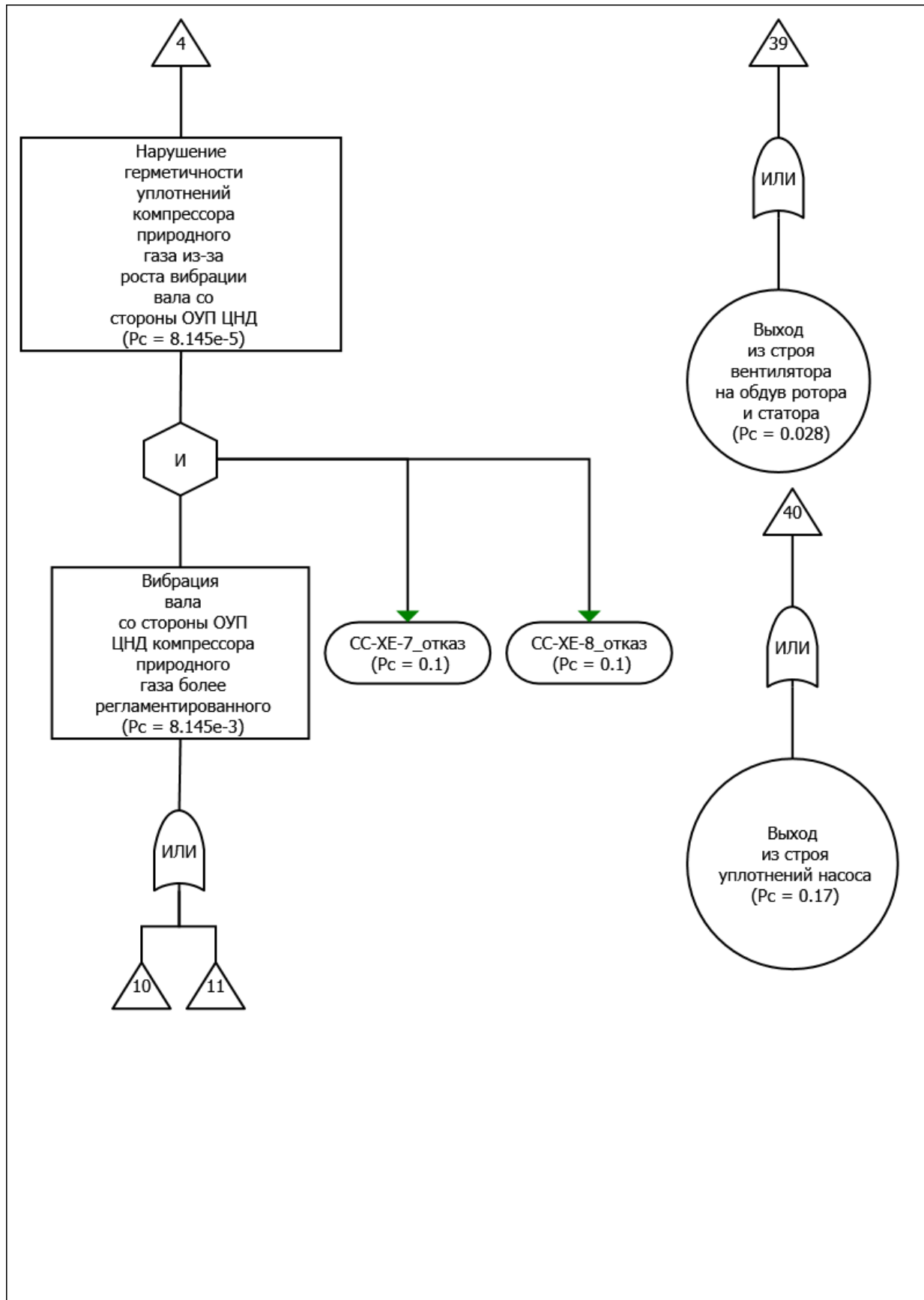


Рисунок 28– Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 5

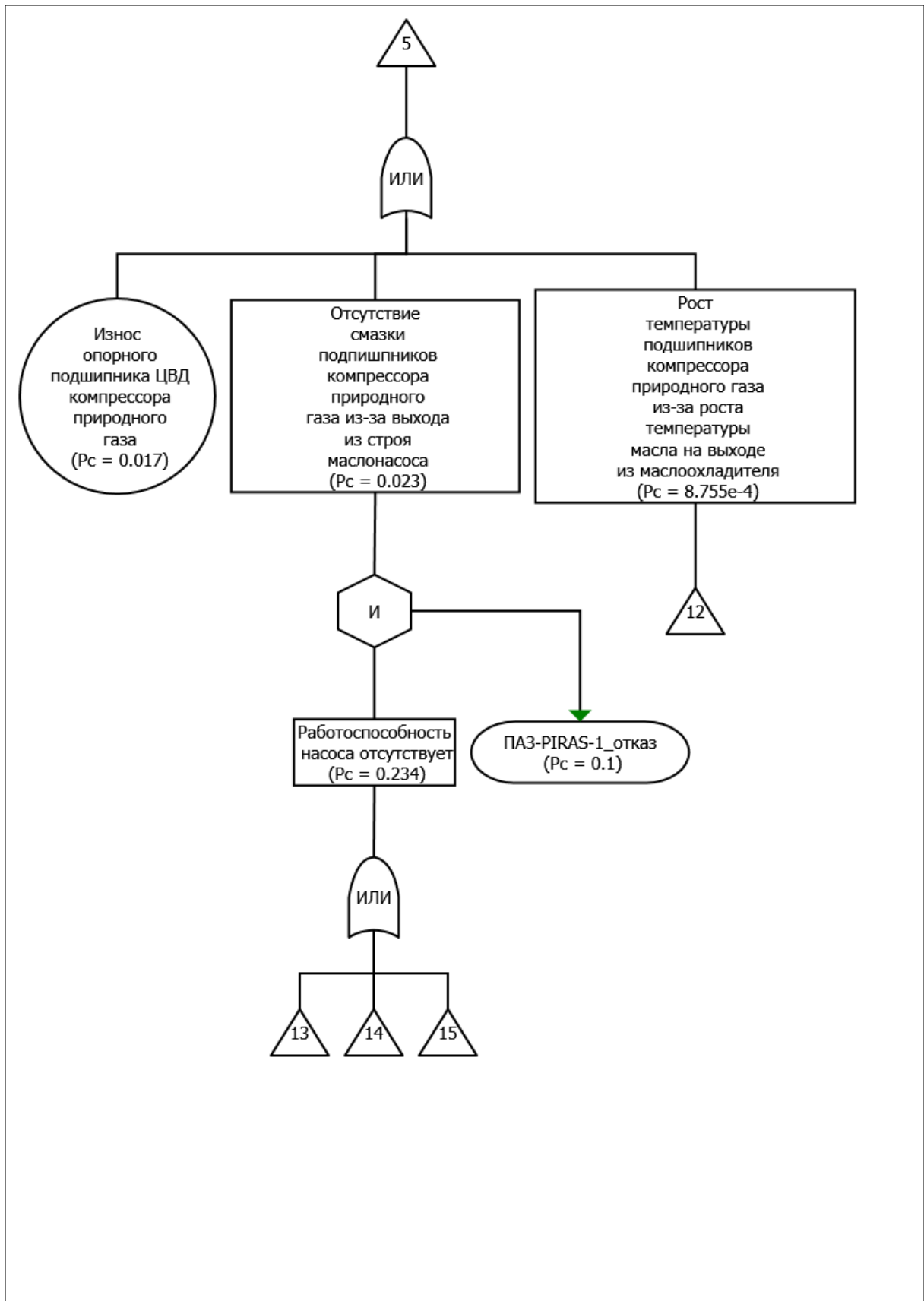


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 6

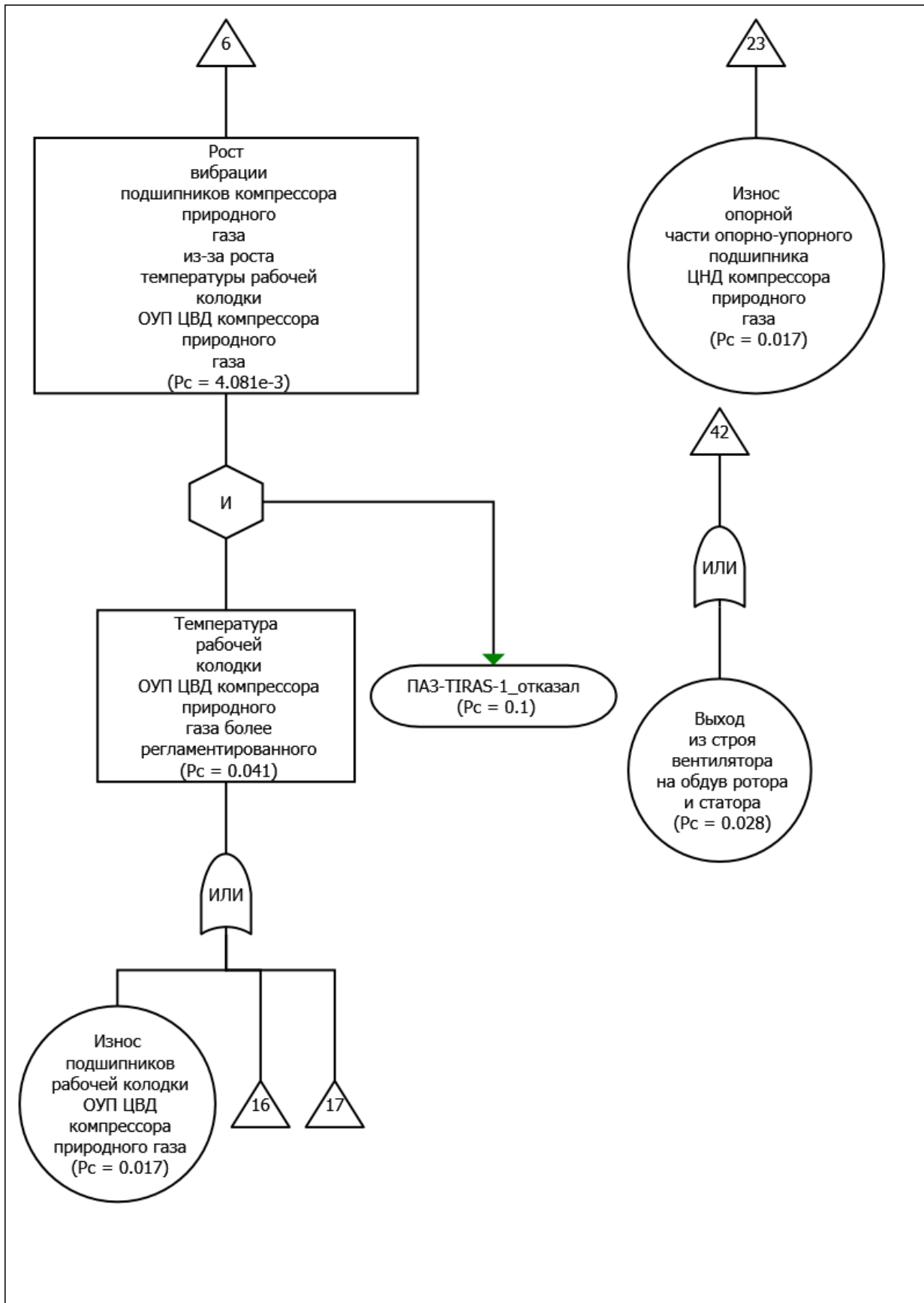


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 7

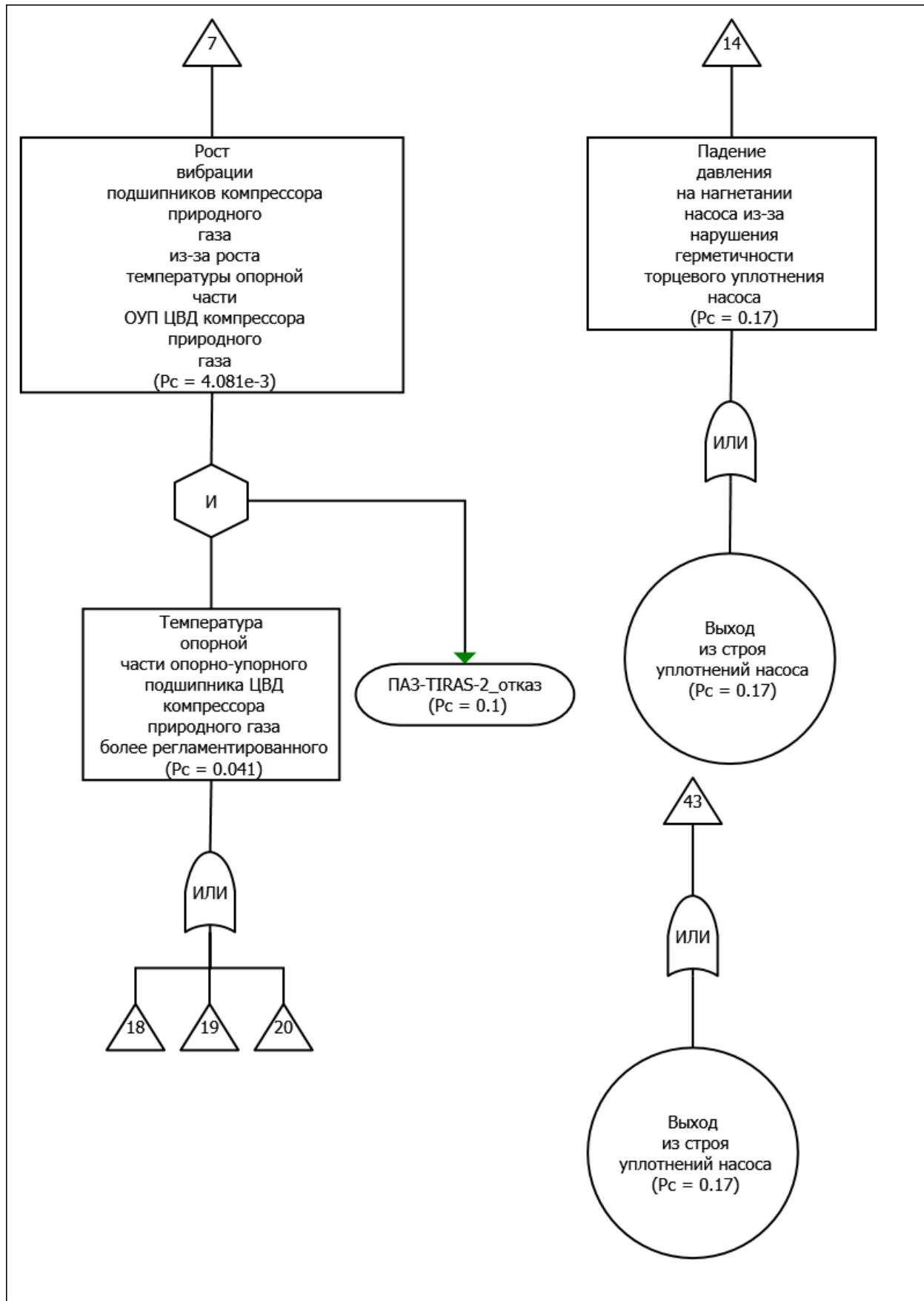


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 8

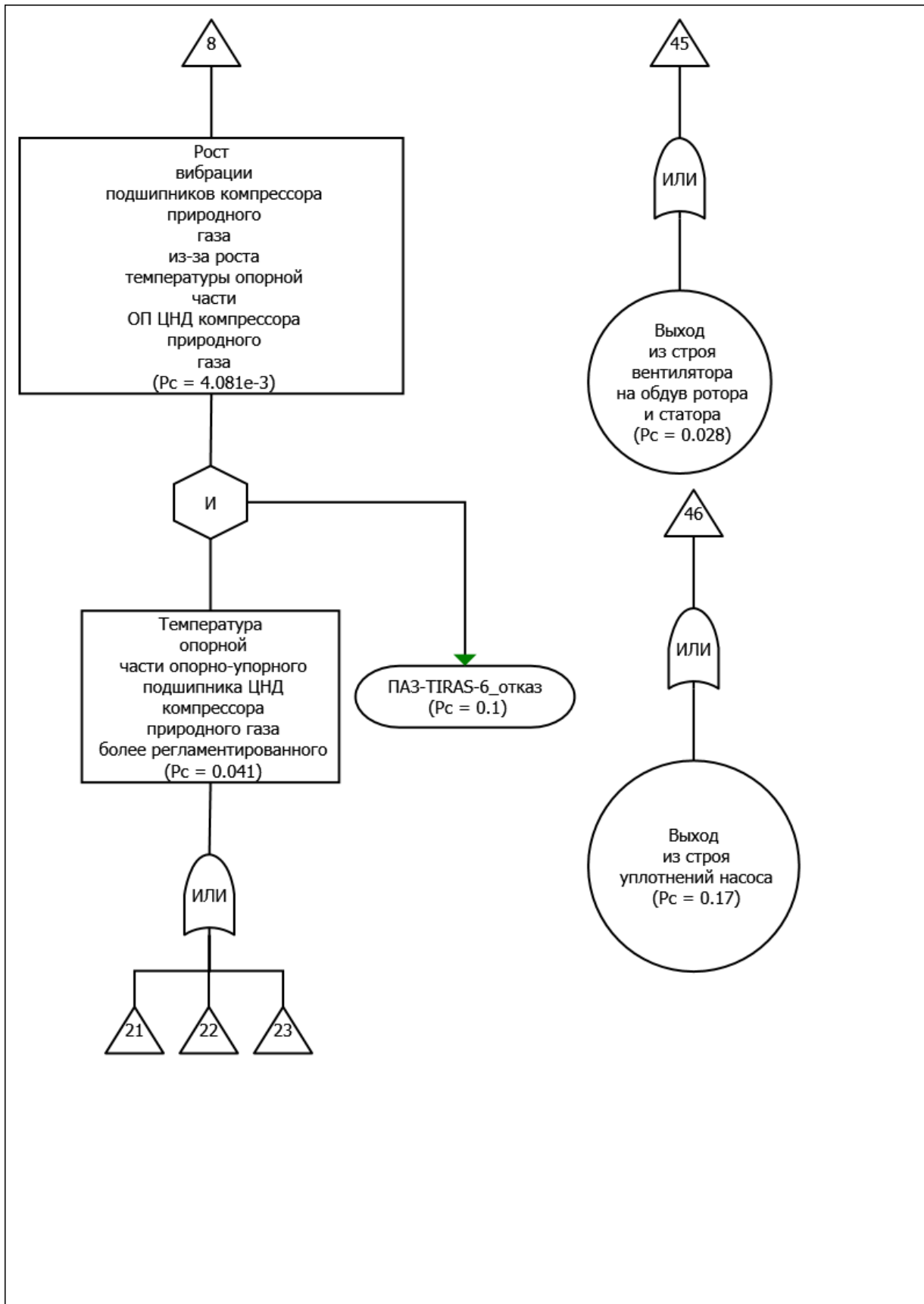


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 9

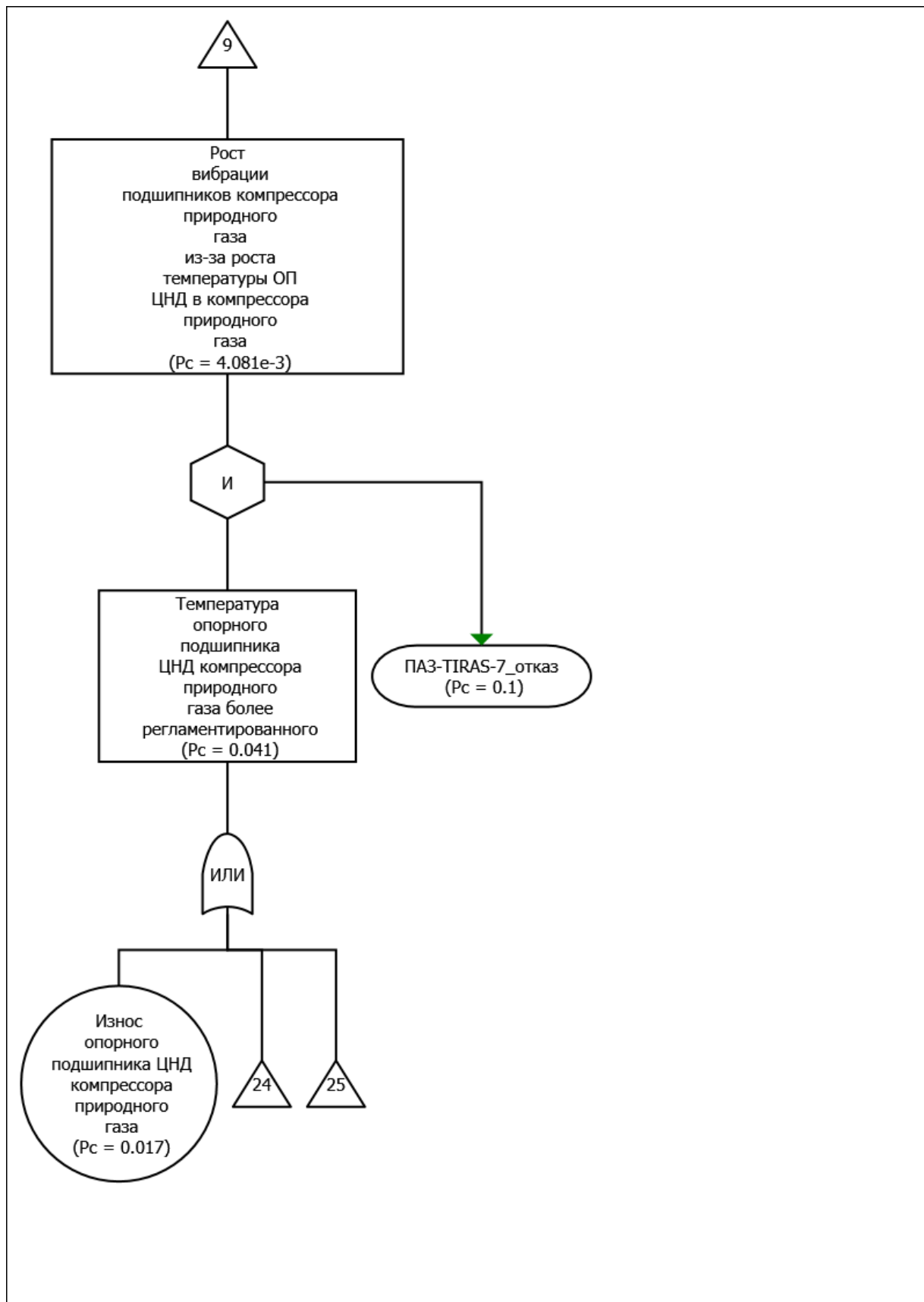


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 10

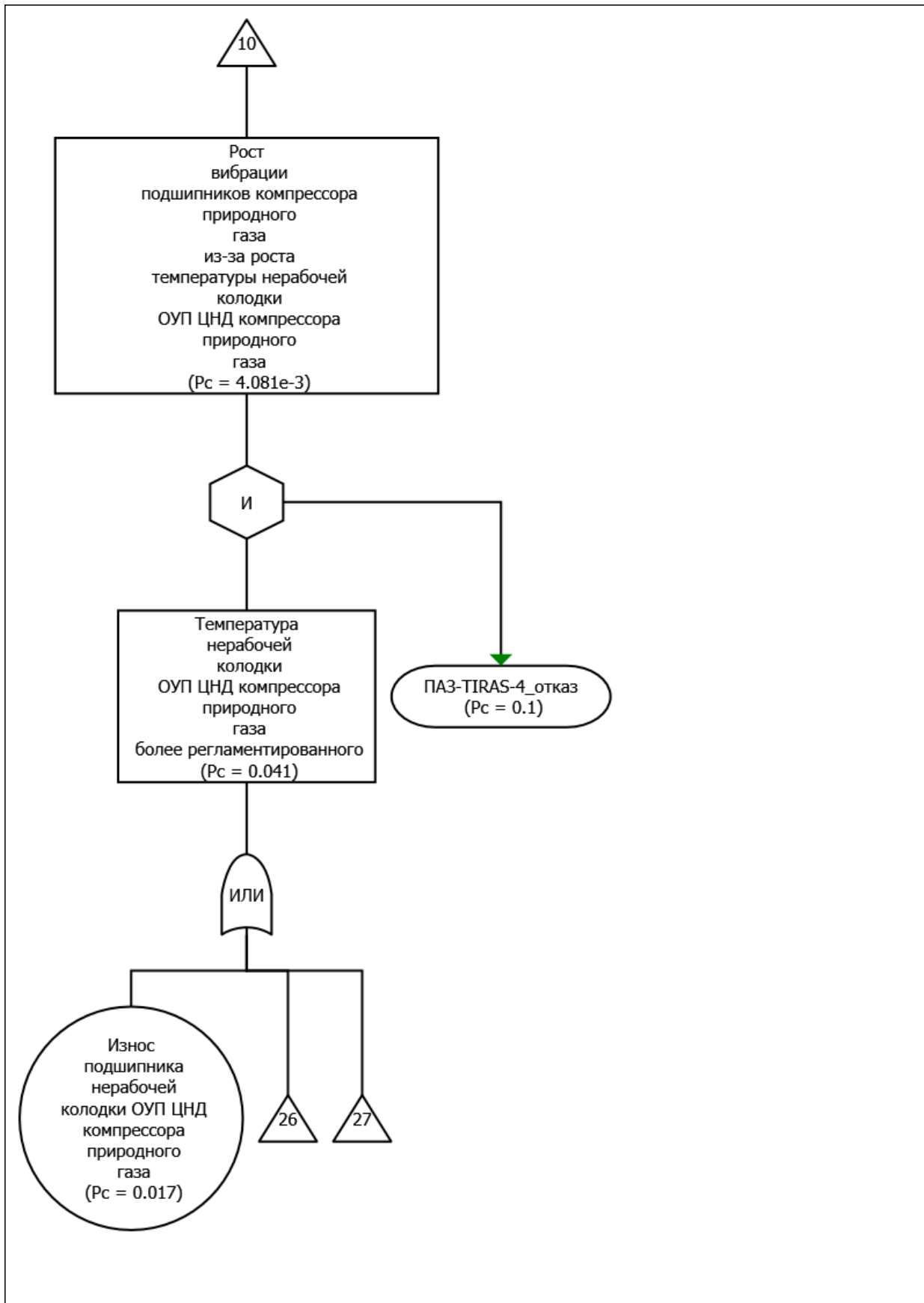


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 11

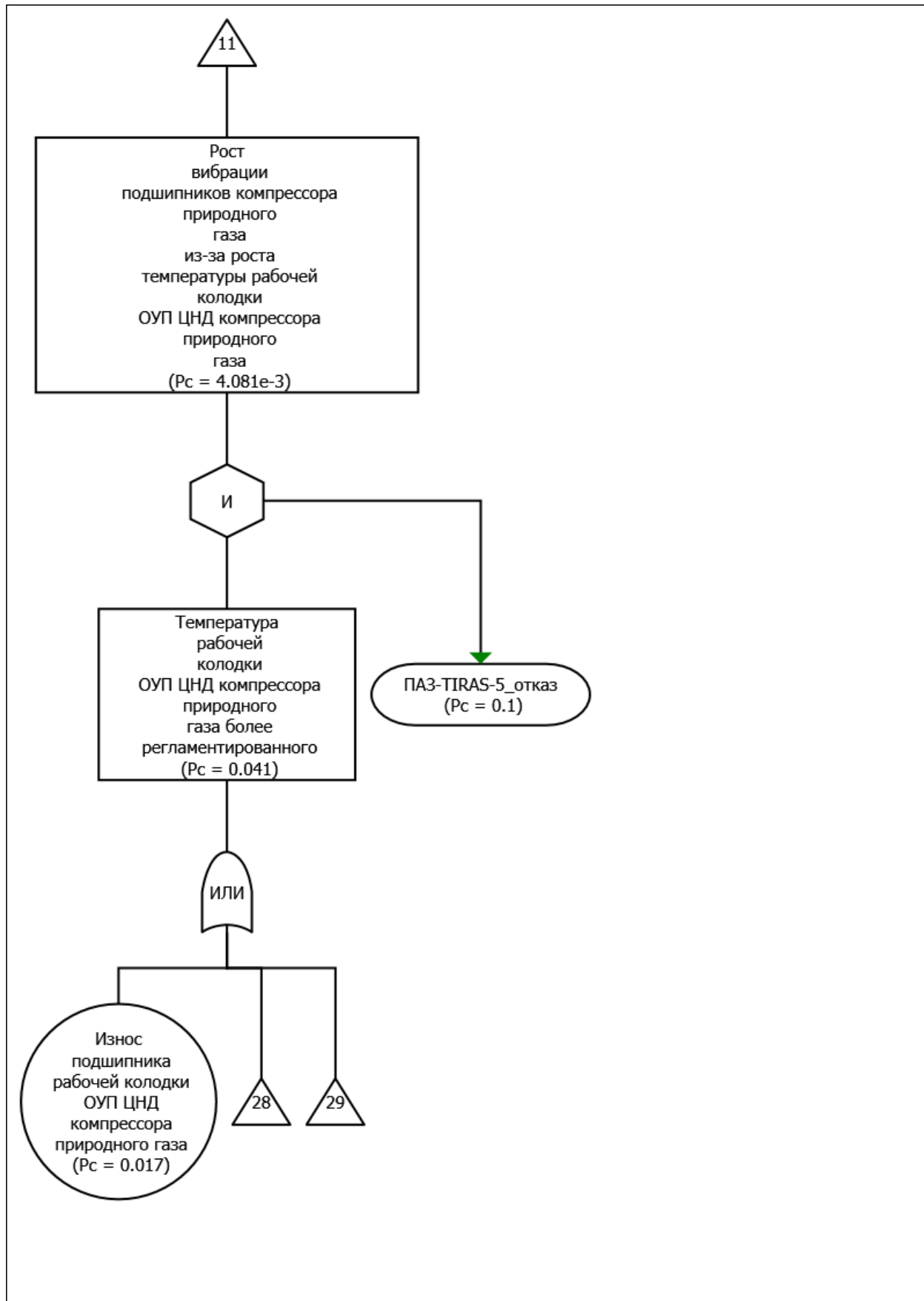


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 12

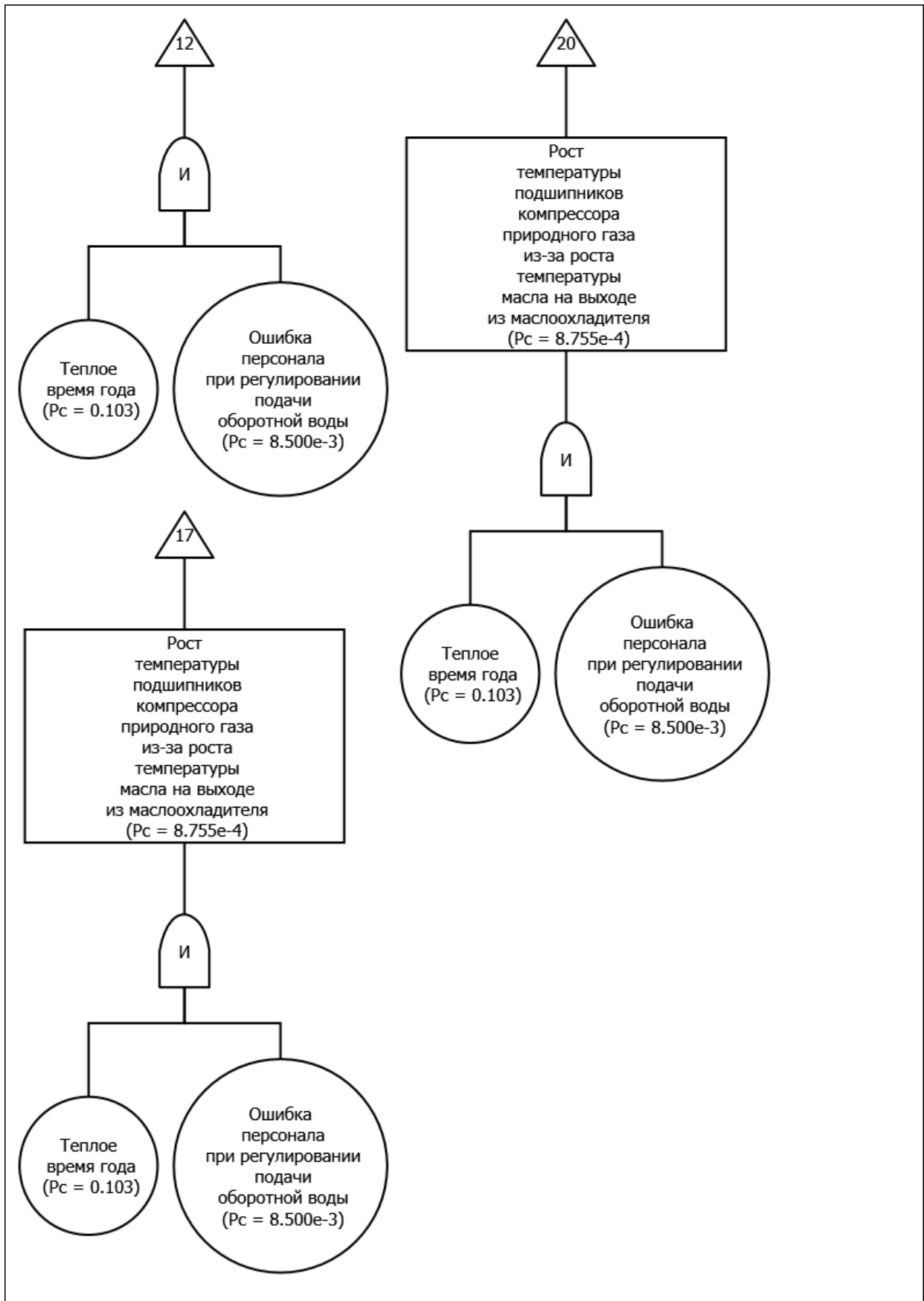


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 13

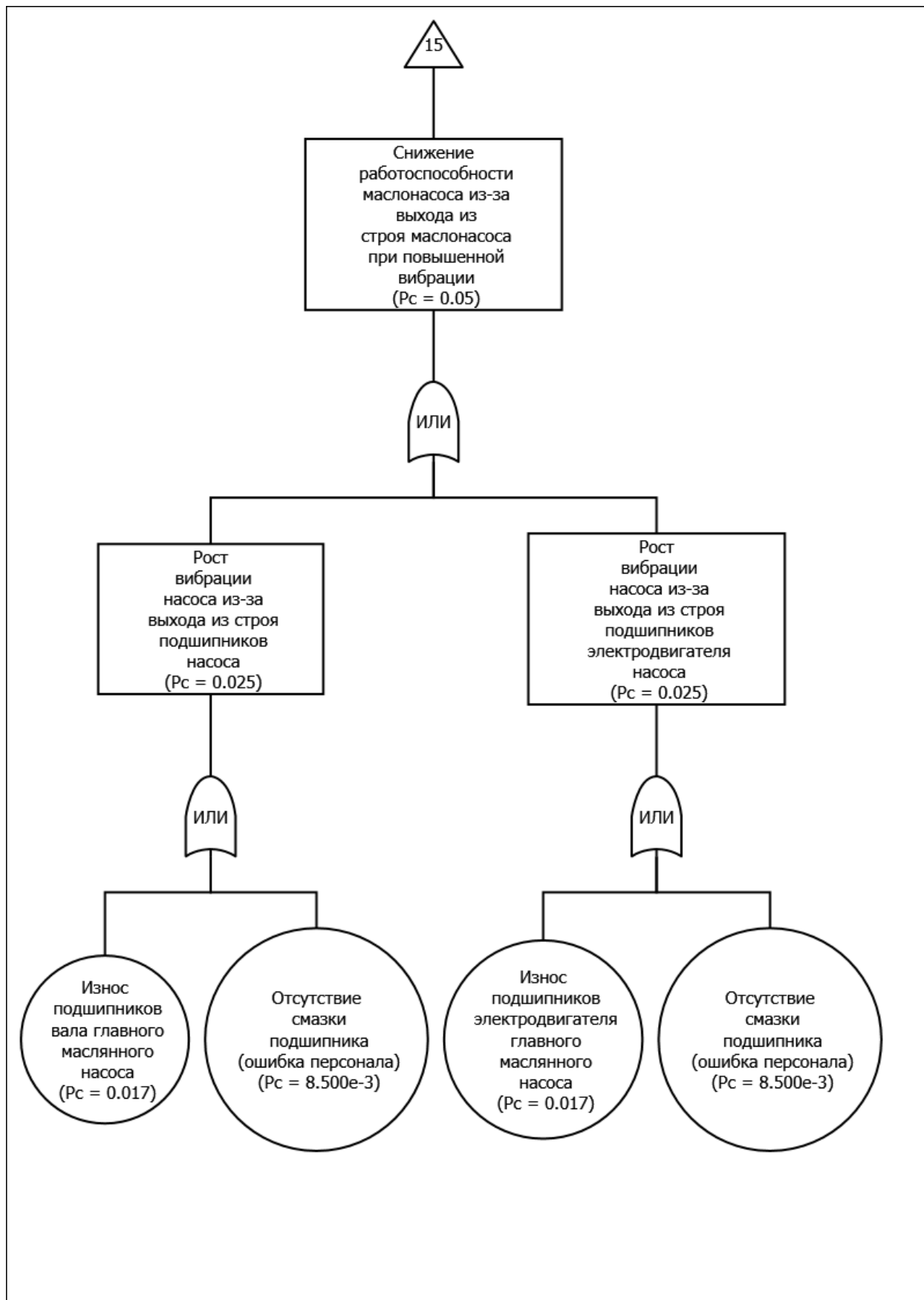


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 14

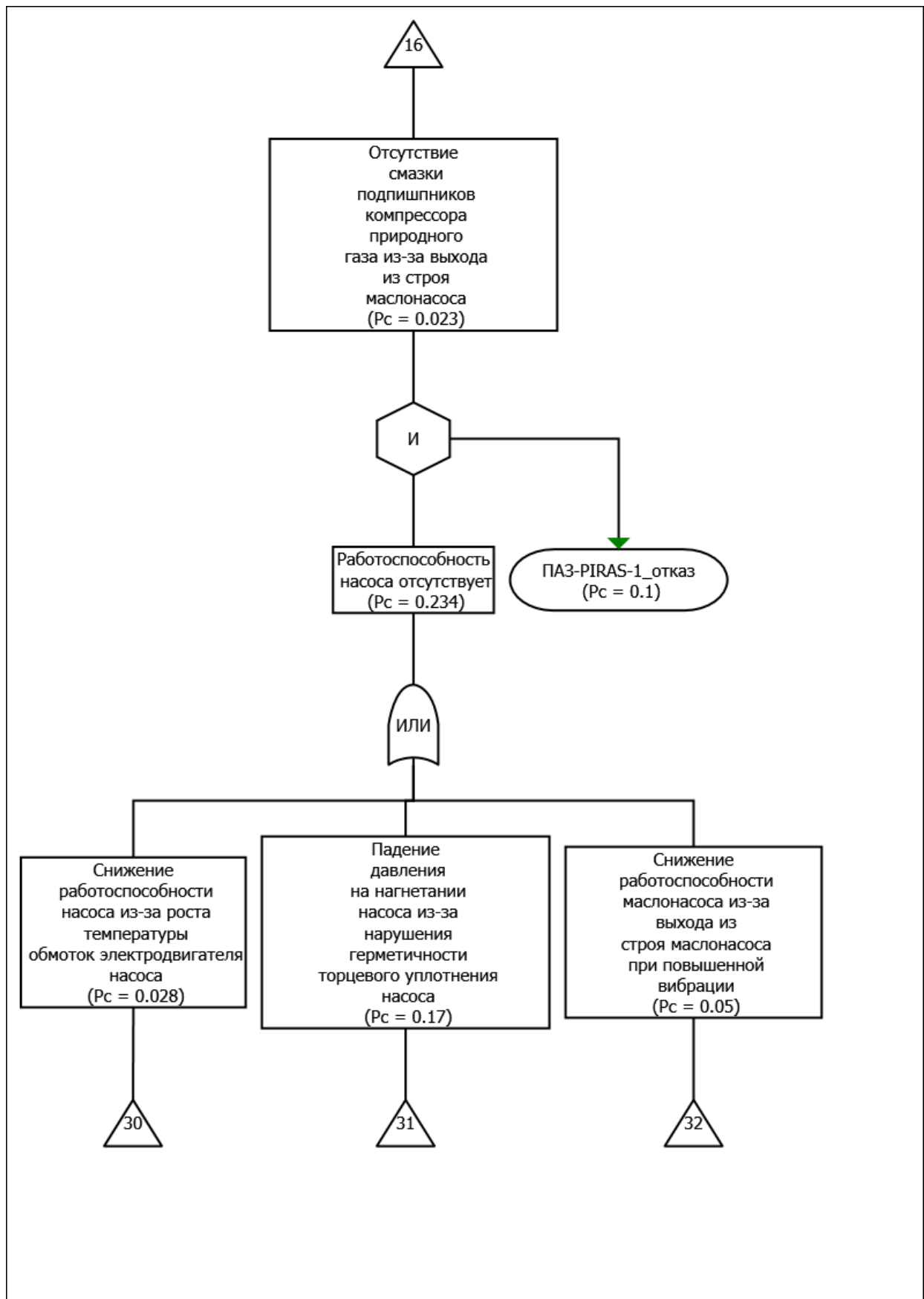


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 15

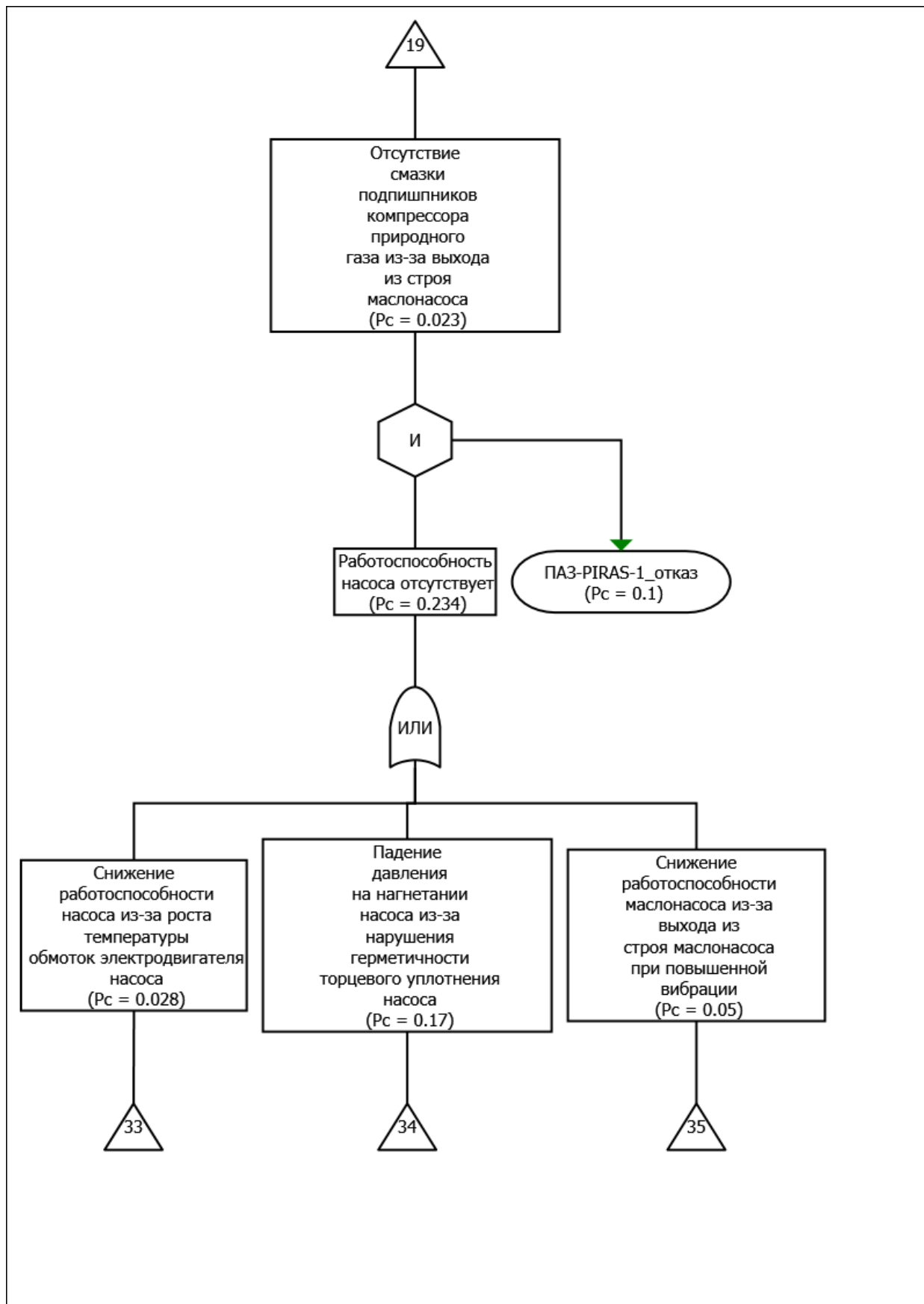


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 16

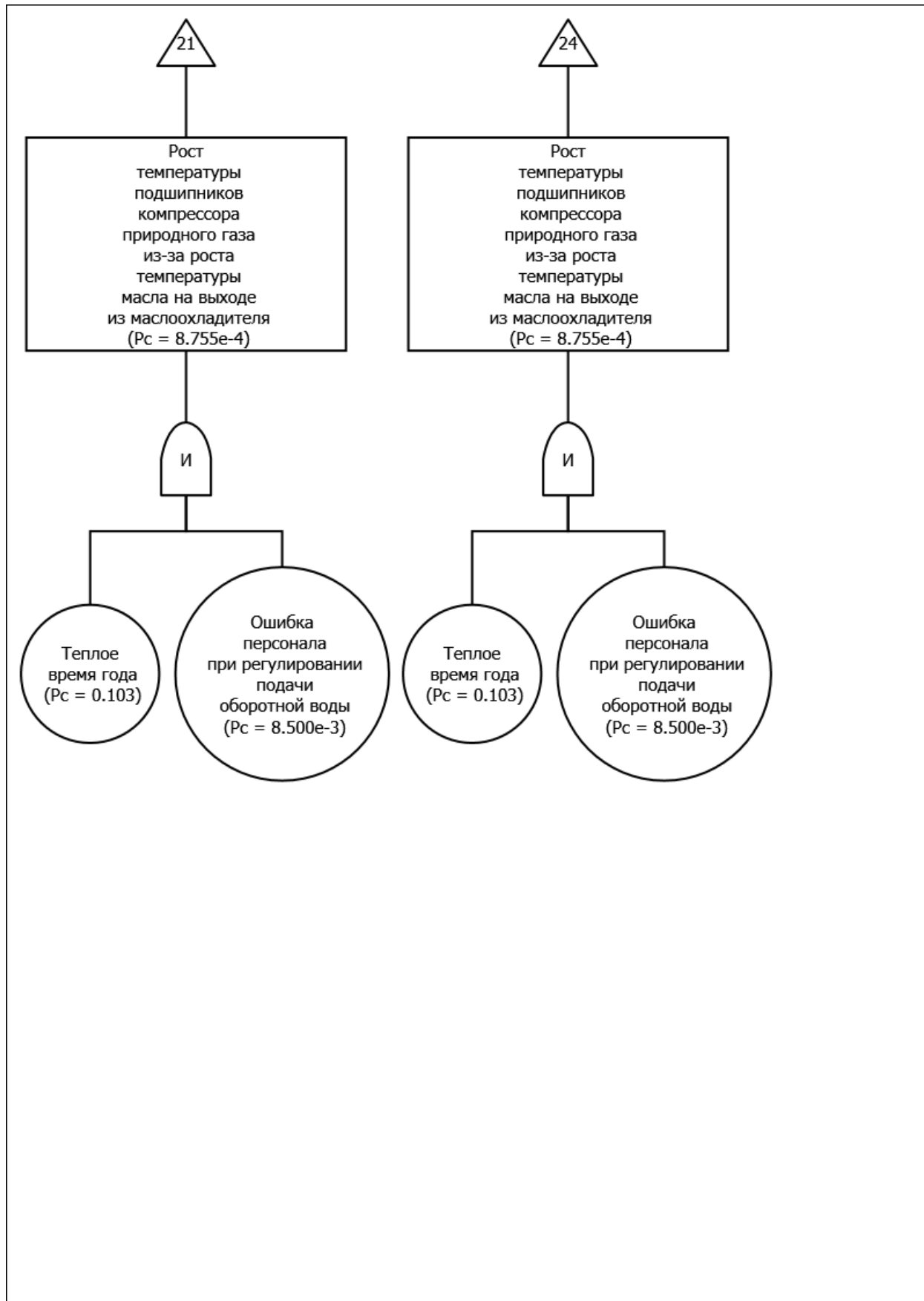


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 17

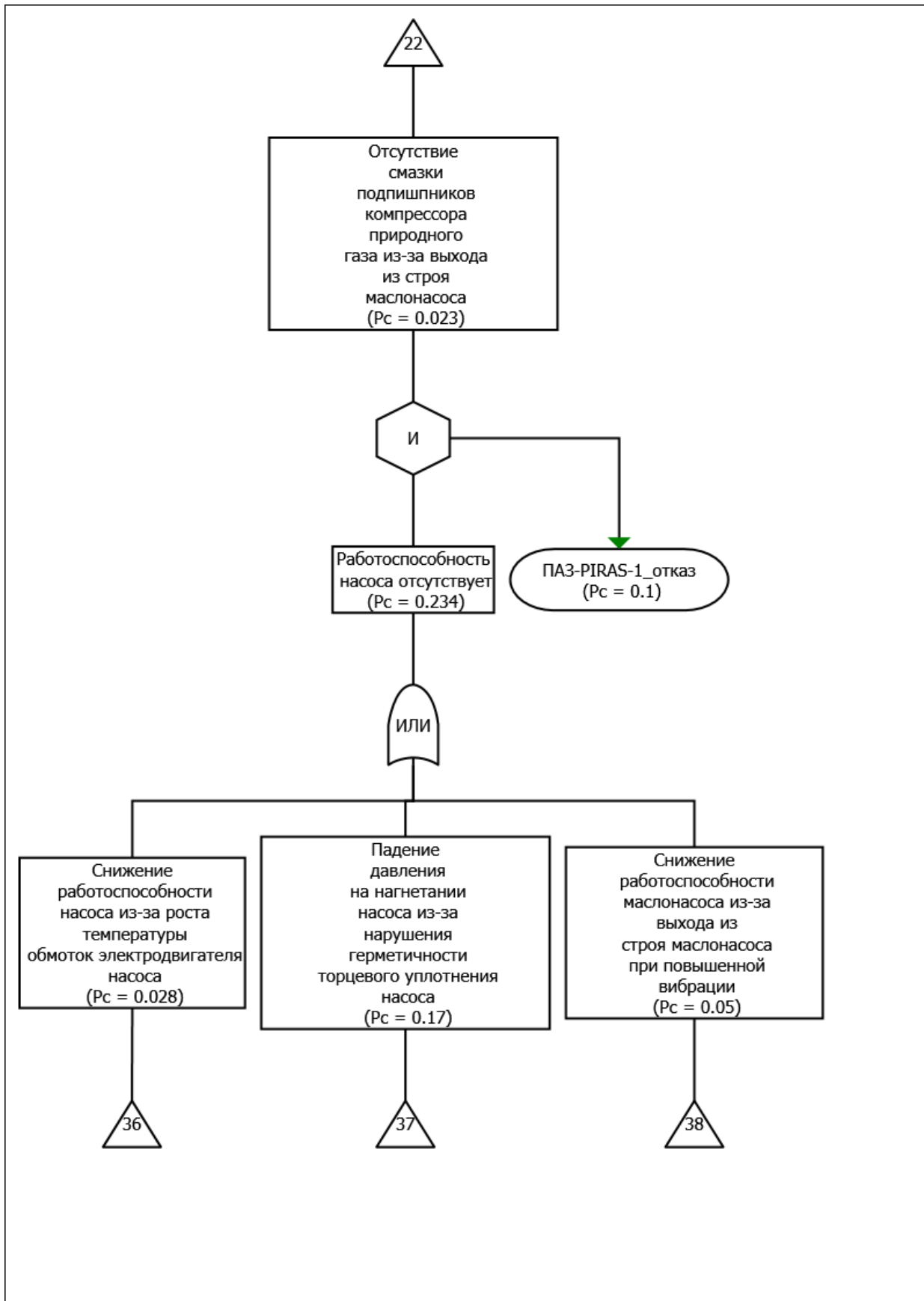


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 18

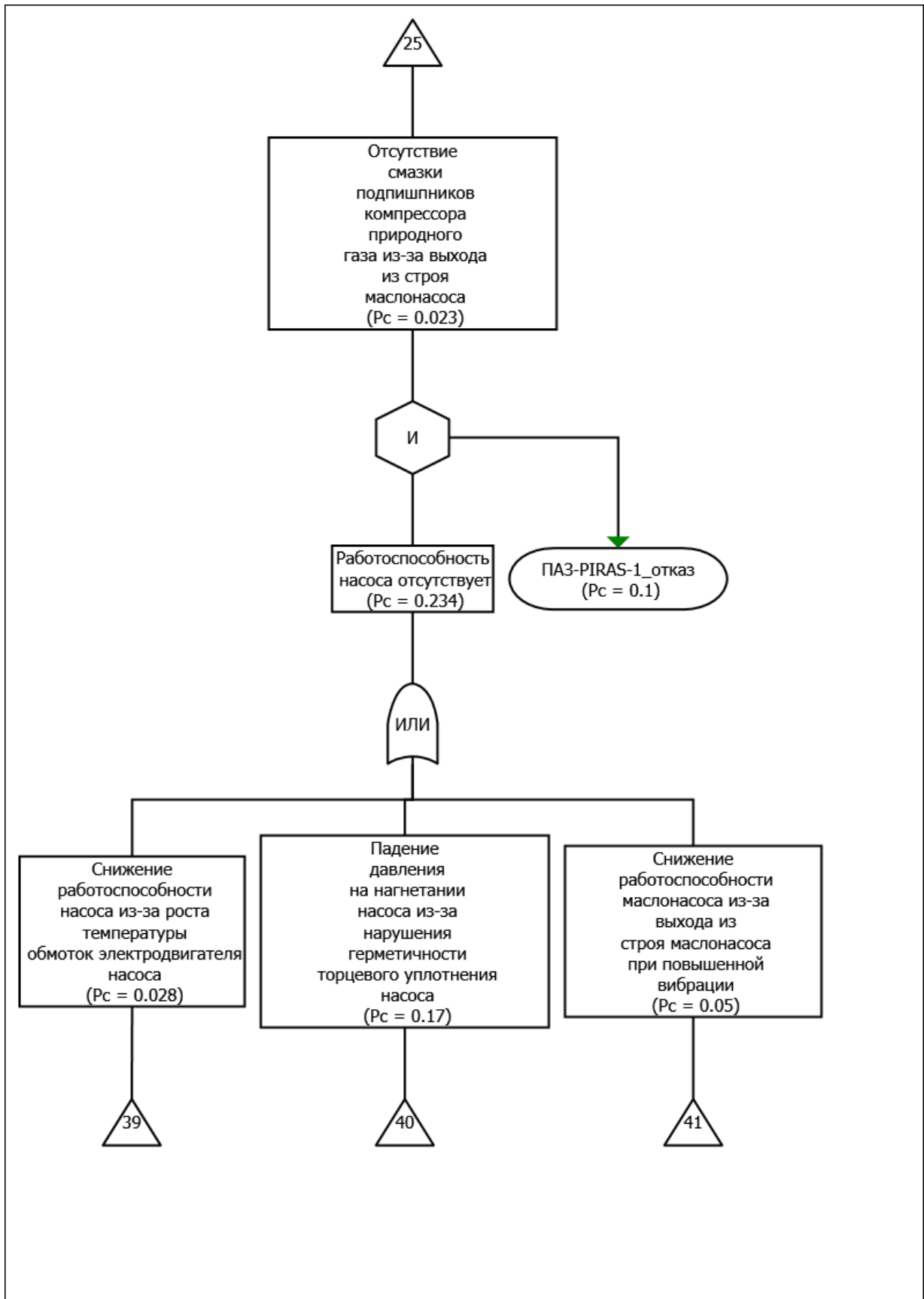


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 19

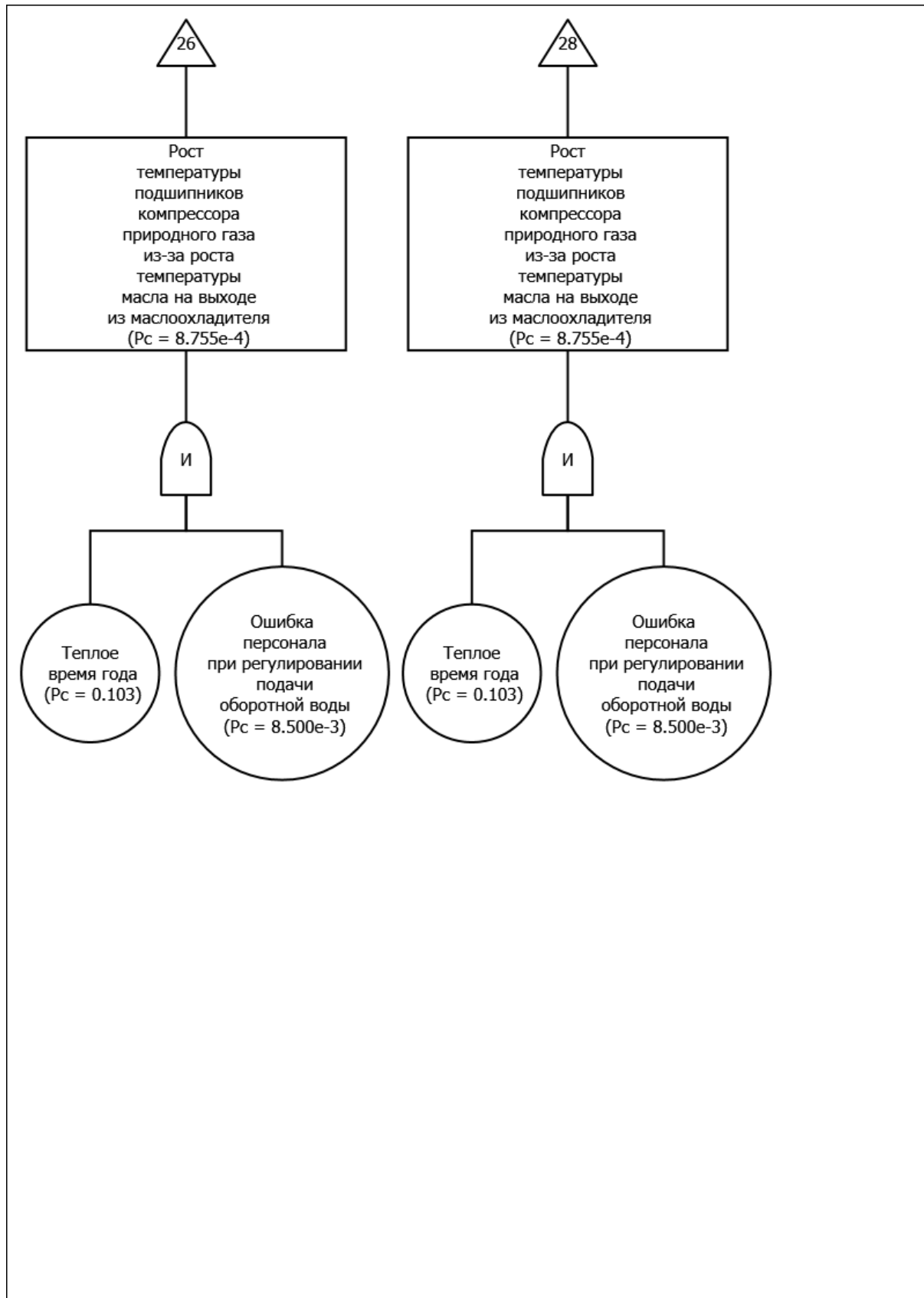


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 20

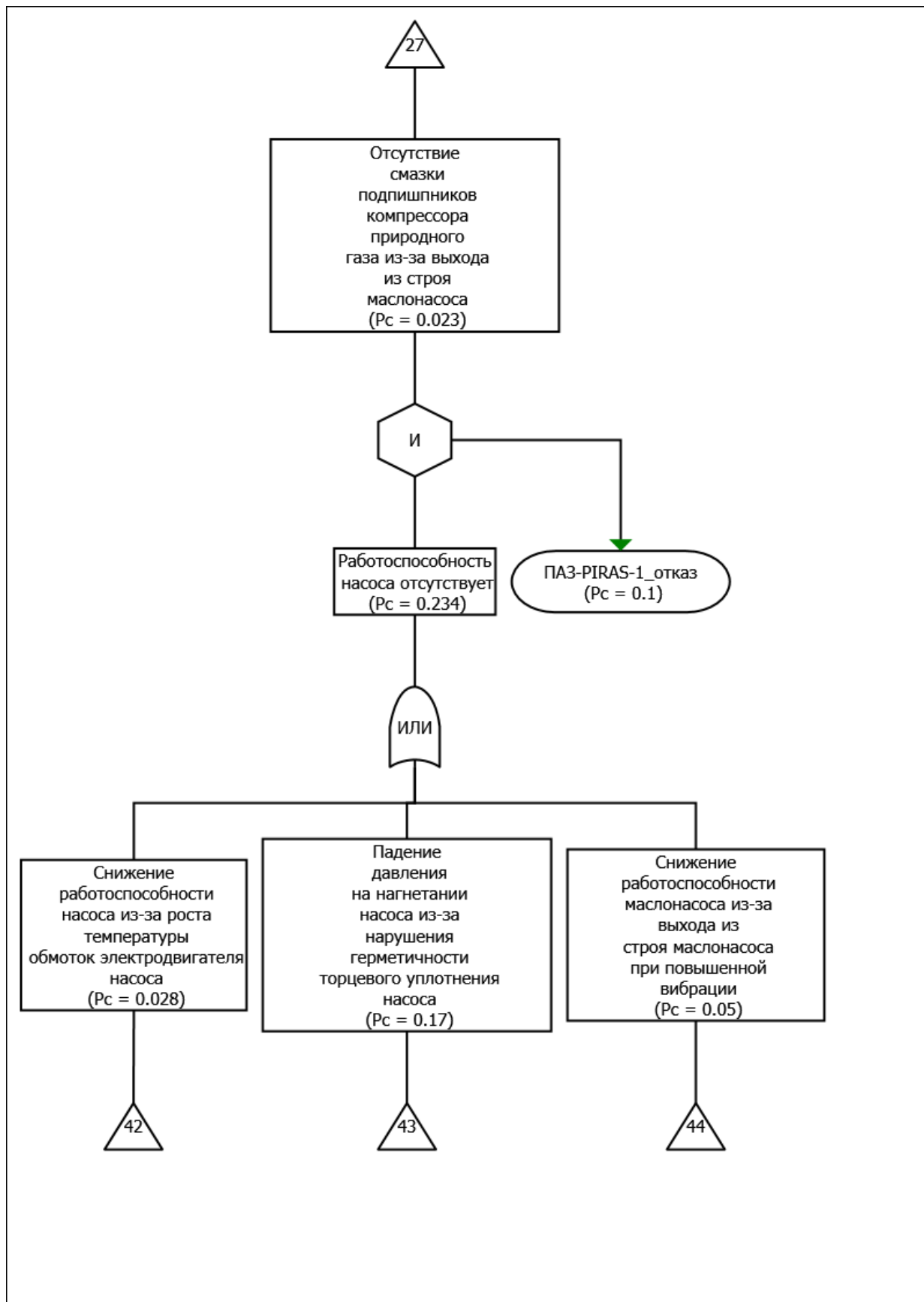


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 21

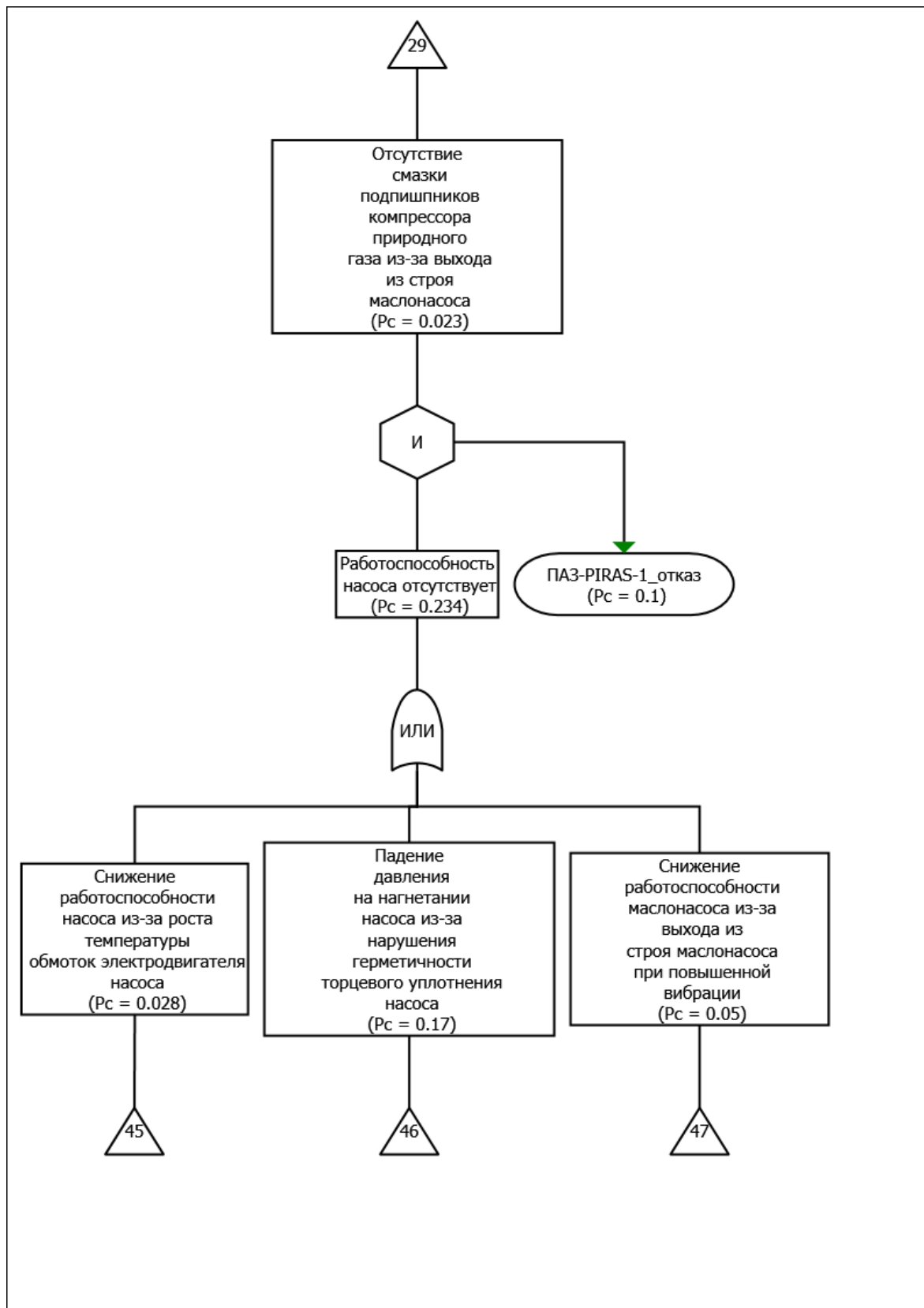


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 22

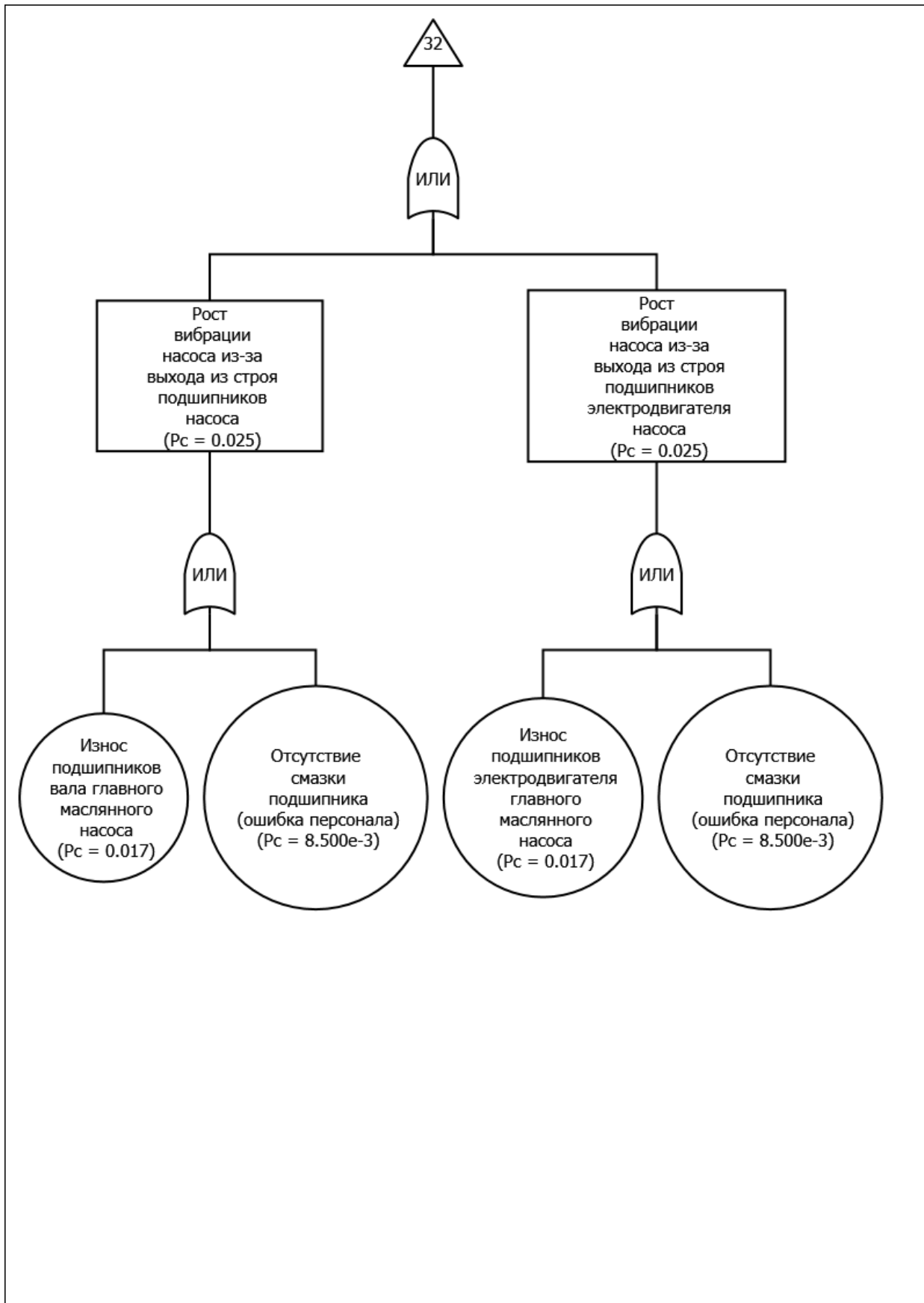


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 23

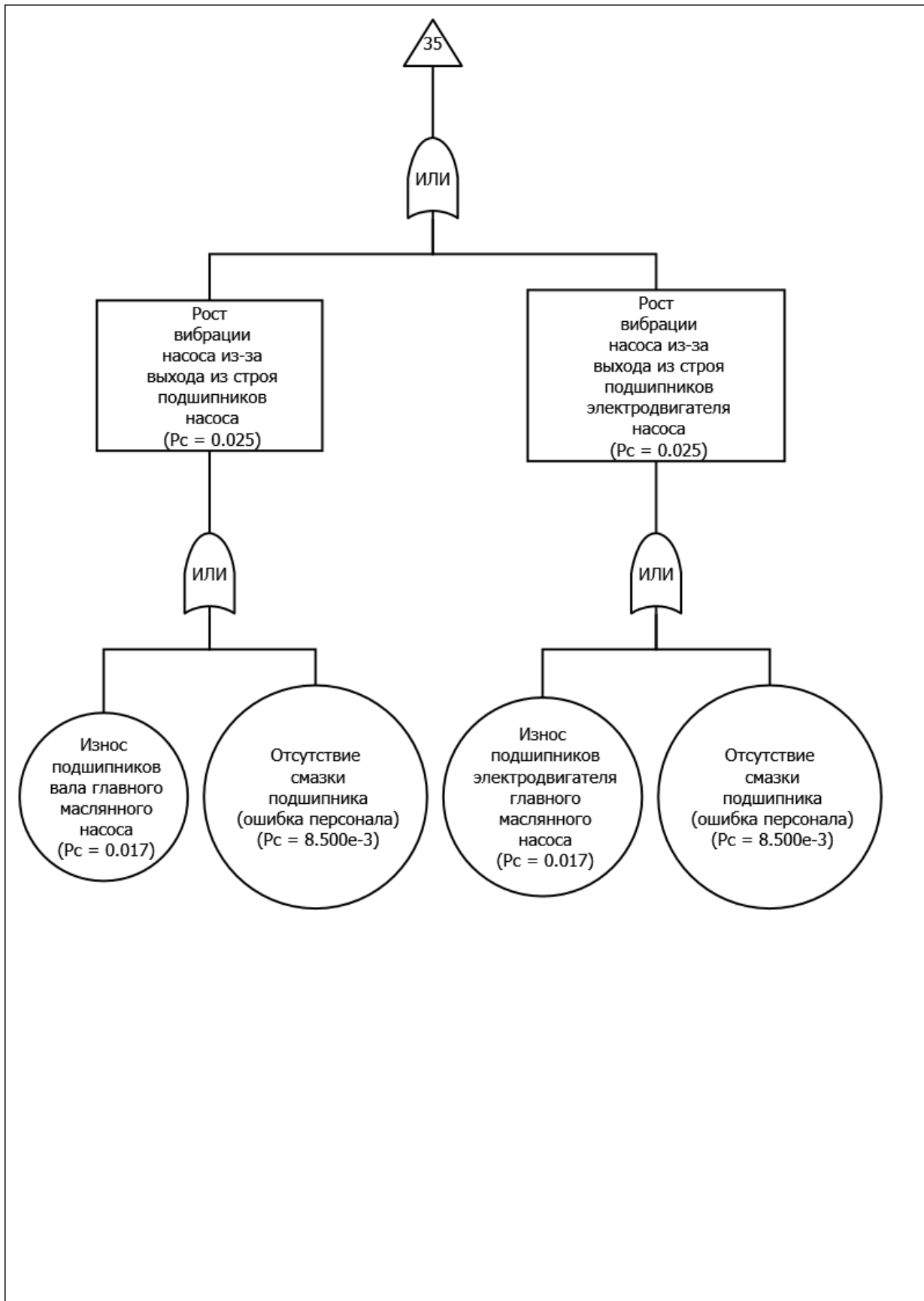


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 24

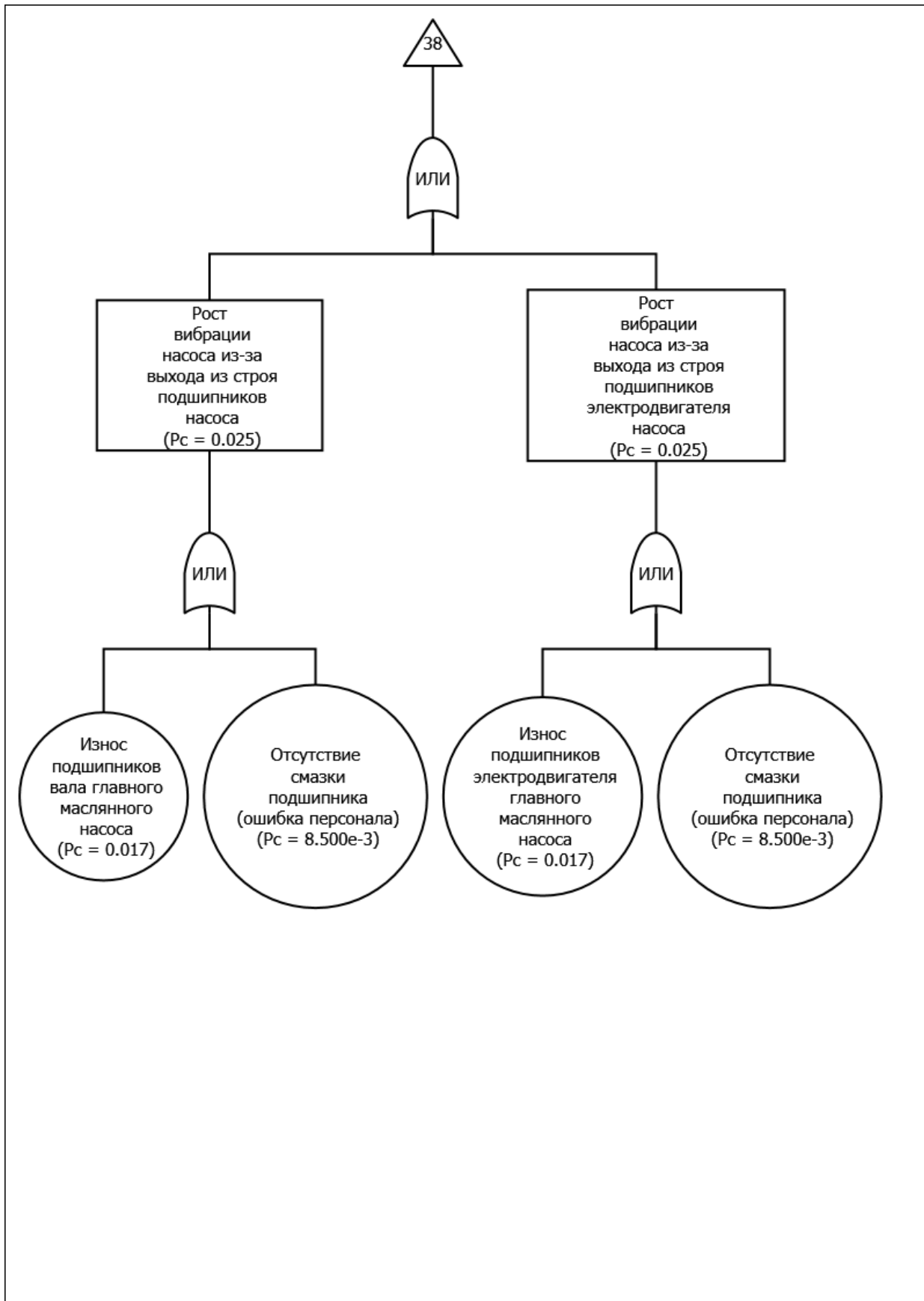


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 25

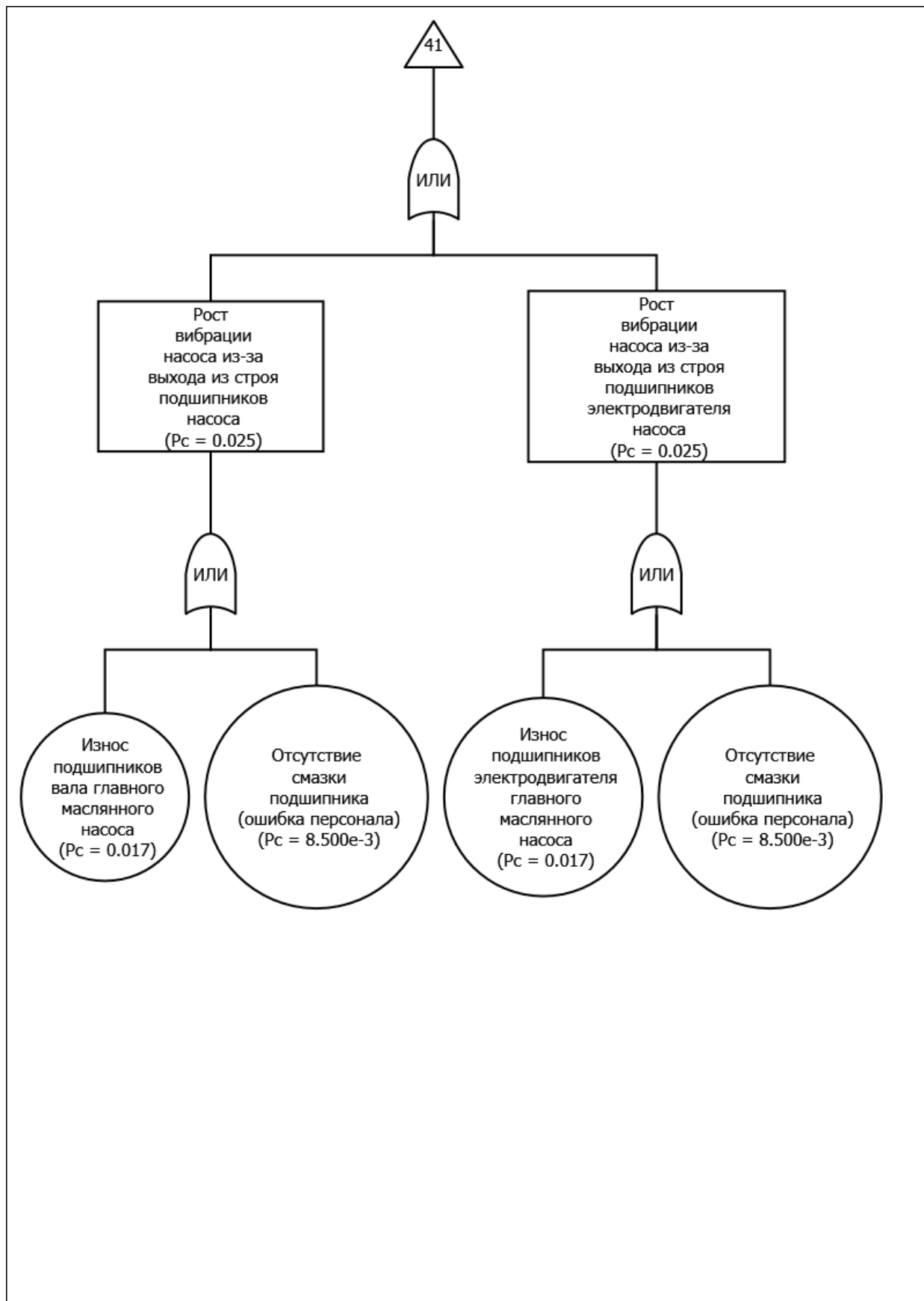


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 26

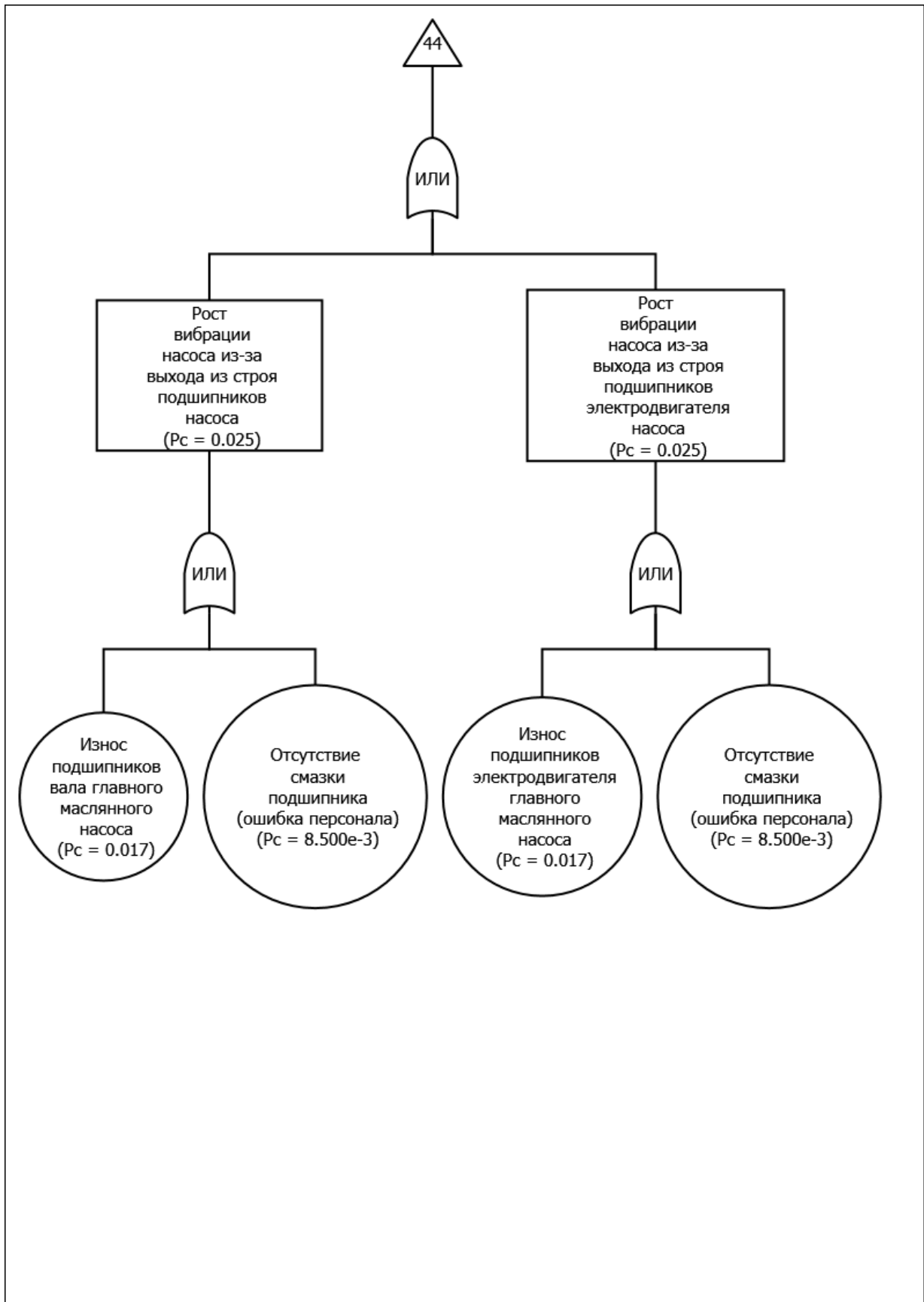


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 27

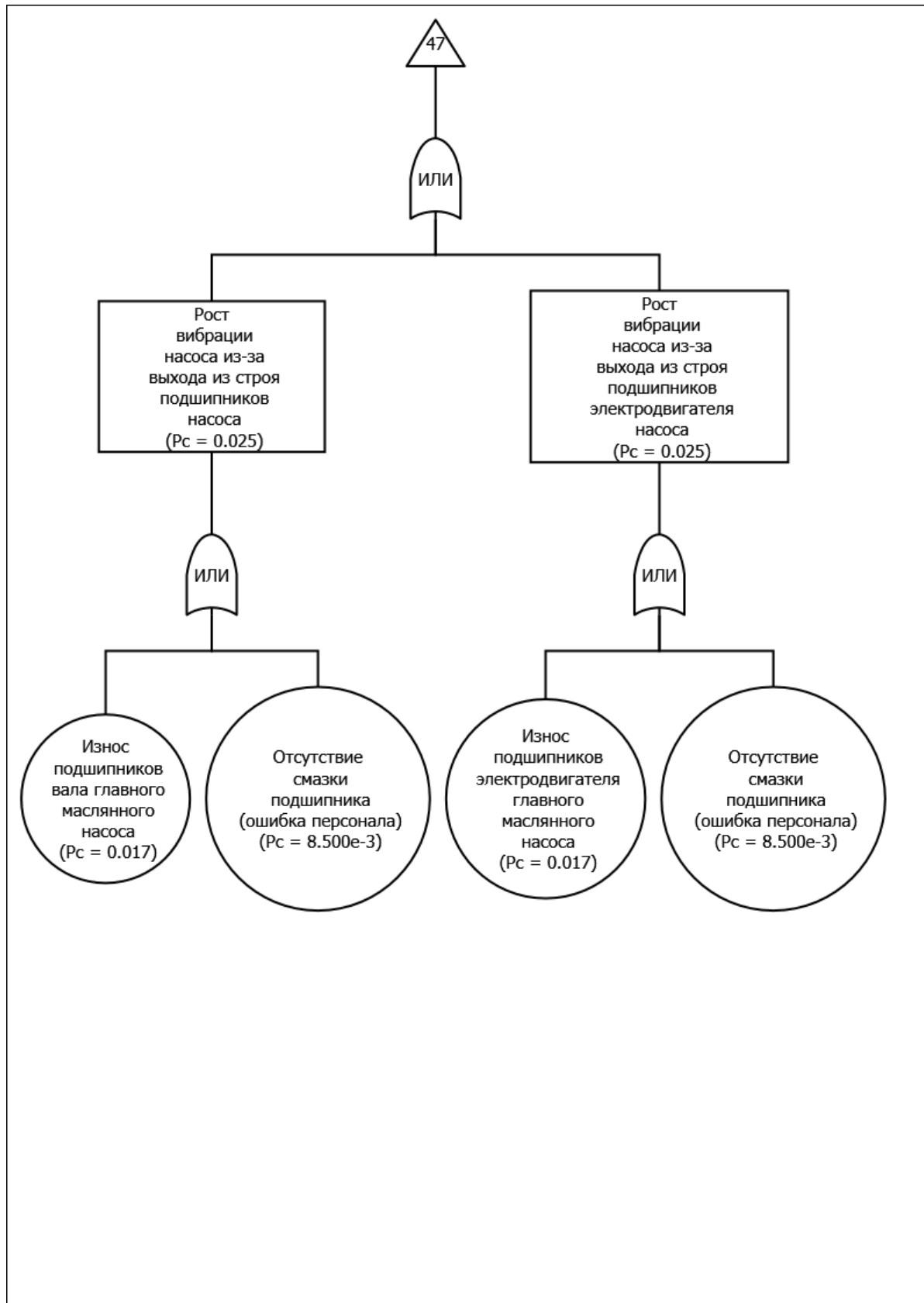


Рисунок 28 – Дерево отказов для события «Загазованность в помещении компрессорной у компрессора природного газа. Образование взрывоопасного облака», лист 28

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ПЕРЕЧЕНЬ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ

Таблица 8 – Перечень исходных событий и вероятностей их возникновения

Событие	Вероятность возникновения, год ⁻¹	Комментарий
Отказ динамического оборудования		
Износ подшипников	1,7E-02	значение взято на основании данных, приведенных в [99]
Износ уплотнений насоса	1,7E-01	значение взято из базы данных НЦ «Ризикон»
Отказы запорной, запорно-регулирующей арматуры		
Отказ ППК	4,30E-03	значение взято на основании данных, приведенных в [99]
Отказ регулирующего клапана	4,1E-02	значение взято из базы данных НЦ «Ризикон» по эксплуатационным данным КАО "Азот"
Отказ клапана-отсекателя	2,6E-02	значение взято из базы данных НЦ «Ризикон» по эксплуатационным данным КАО "Азот"
Отказы контрольно-измерительных приборов		
Отказ уровнемера (отказ/завышение/занижение показаний)	4,9E-02	значение взято из базы данных НЦ «Ризикон» по эксплуатационным данным КАО "Азот"
Отказ датчика расхода (отказ/завышение/занижение показаний)	4,9E-02	значение взято из базы данных НЦ «Ризикон» по эксплуатационным данным КАО "Азот"
Отказ датчика давления (отказ/завышение/занижение показаний)	3,0E-02	значение взято из базы данных НЦ «Ризикон» по эксплуатационным данным Новополюцк Нафтан
Отказ датчика температуры (отказ/завышение/занижение показаний)	4,80E-03	значение взято из базы данных НЦ «Ризикон» по эксплуатационным данным КАО "Азот"
Отказы оборудования, элементов оборудования		
Разгерметизация трубок теплообменного оборудования	1,0E-02	значение взято на основании данных, приведенных в [100]

Продолжение таблицы 8

Ошибки персонала		
ошибка персонала в обнаружении сигнала и принятии решения	6,2E-02	значение взято на основании данных, приведенных в [101]
перекрыта арматура на линии (ошибка персонала)	3,0E-03	значение взято на основании данных, приведенных в [99] (ошибка выбора вентиля из числа подобных, при полном сходстве с другими вентилями)
ошибка персонала при невыполнении пункта должностной инструкции	8,5E-03	значение взято на основании данных, приведенных в [101]
не та кнопка нажата (ошибка персонала)	1,5E-03	значение взято на основании данных, приведенных в [99]

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
СЕРТИФИКАТ РИЗЭКС-3

RUSSIAN FEDERATION		№ 03144
СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ «GLOBAL-SYSTEMS» № РОСС RU.32623.04ГСС0 в едином реестре зарегистрированных систем добровольной сертификации ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ		
СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ		
Регистрационный номер РОСС RU.32623.OC11.08873		
Срок действия с 26.12.2024 по 25.12.2027		
ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ № РОСС RU.32623.OC11 Общество с ограниченной ответственностью "Промснаб", 115114, г Москва, вн.тер.г муниципальный округ Даниловский, ул Кожевническая, 16 / строение 4, помещ 3/1.		
ПРОДУКЦИЯ Программный комплекс моделирования аварий и оценки риска RizEx - 3 («РизЭкс-3»). Серийный выпуск	код ОКПД2 58.29.29.000	
СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ Согласно Приложению	код ТН ВЭД 8523499900	
ИЗГОТОВИТЕЛЬ Общество с ограниченной ответственностью «Центр Изучения Техногенных Рисков «Ризикон». Адрес: 105066, Россия, город Москва, вн.тер.г. муниципальный округ Басманный, улица Ольховская, дом 16, строение 6, этаж 2		
СЕРТИФИКАТ ВЫДАН Общество с ограниченной ответственностью «Центр Изучения Техногенных Рисков «Ризикон». Адрес: 105066, Россия, город Москва, вн.тер.г. муниципальный округ Басманный, улица Ольховская, дом 16, строение 6, этаж 2. ОГРН: 1097746186625, ИНН: 7722683101		
НА ОСНОВАНИИ Протокола испытаний № ИЛ11-54827 от 26.12.2024 года, выданного Испытательной лабораторией Общества с ограниченной ответственностью "Промснаб", аттестат аккредитации РОСС RU.32623.ИЛ11.		
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ Схема сертификации: 1с (ГОСТ Р 53603-2020 Оценка соответствия. Схемы сертификации продукции в Российской Федерации).		
		
		Проверка подлинности сертификата соответствия
Руководитель органа		Д.Н. Обрепов <small>инициалы, фамилия</small>
Эксперт		А.А. Зимов <small>инициалы, фамилия</small>
Настоящий сертификат соответствия обязывает организацию поддерживать выпуск (реализацию) продукции в соответствии с вышеуказанным стандартом, что будет находиться под контролем органа по сертификации системы добровольной сертификации «GLOBAL-SYSTEMS» и подтверждаться при прохождении ежегодного инспекционного контроля		
АО «ФГЦСИ», Москва, 2024 г. «И» ТЗ № 813		

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ
ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ № 2021663111

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021663111

«Модуль обработки экспертных оценок для анализа
уязвимостей производственно-технологических
процессов» («Модуль экспертных оценок для
определения уязвимых мест на опасных
производственных объектах»)

Правообладатель: *Акционерное общество «Производственно-внедренческое предприятие «Амулет» (RU)*

Авторы: *Ковальский Федор Сергеевич (RU), Мосолов Александр Сергеевич (RU)*

Заявка № 2021661971

Дата поступления 29 июля 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 11 августа 2021 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

АКТ ВНЕДРЕНИЯ



Общество с ограниченной ответственностью
«Центр Изучения Техногенных Рисков «Ризикон»
105066, г. Москва, ул. Ольховская, д. 16 стр. 6, этаж 2
ОГРН 1097746186625, ИНН 7722683101, КПП 770101001
7 (499) 404-35-31 www.rizikon.ru office@rizikon.ru

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ООО «ЦИТР «Ризикон»

Грановский Э. А.

2025 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертации Ковальского Федора Сергеевича в производственный процесс Общества с ограниченной ответственностью «Центр изучения техногенных рисков «Ризикон».

Мы, нижеподписавшиеся, подтверждаем, что основные научные положения, выводы и рекомендации кандидатской диссертации Ковальского Федора Сергеевича на тему «Методы снижения риска пожаро- и взрывоопасных производственных объектов с учётом вероятностно-экономического показателя безопасности контуров защит» внедрены в производственный процесс ООО «ЦИТР «Ризикон» при проведении работ по оценке, анализу и управлению риском на опасных производственных объектах.

Результаты диссертации были применены на объектах КАО «Азот», ПАО «СИБУР Холдинг» и ПАО «Газпром нефть».

Генеральный директор
ООО «ЦИТР «Ризикон»

Грановский Э. А.

Коммерческий директор
ООО «ЦИТР «Ризикон»

Грановский А. А.