

На правах рукописи



ФАТХУТДИНОВ РИНАТ ИЛЬЯСОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО
КОНТРОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОПАСНЫХ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ
ОТРАСЛИ**

Специальность 05.26.03 Пожарная и промышленная безопасность
(нефтегазовая отрасль)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа – 2022

Работа выполнена на кафедре «Пожарная и промышленная безопасность» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

Научный руководитель	кандидат технических наук, доцент Климова Ирина Викторовна
Официальные оппоненты:	Волохина Алла Тагировна доктор технических наук, доцент ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина» / кафедра промышленной безопасности и охраны окружающей среды, профессор Алекперова Саялы Тагиевна кандидат технических наук, ООО «ИДК Эксперт» / директор по управлению проектами и перспективному развитию
Ведущая организация	ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (г. Самара)

Защита диссертации состоится «13» мая 2022 года в 10:00 на заседании диссертационного совета Д 212.289.05 при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте www.rusoil.net.

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Латыпов Олег Ренатович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

За период с 2003 по 2020 годы на опасных производственных объектах (далее – ОПО) нефтегазодобывающей отрасли произошло 268 аварий, которые унесли жизни 295 человек. При этом, только за последние 10 лет, экономические потери от них составили порядка 8,1 миллиардов рублей. По абсолютным показателям аварийности и смертельного травматизма за период с 2003 по 2020 гг. наблюдается волнообразная, но положительная динамика уменьшения их количества. Однако, невозможно однозначного утверждать о стабильном линейном снижении.

По данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (далее – Ростехнадзор) одним из основных причин аварий, смертельного травматизма и нарушений, выявляемых Ростехнадзором и службами предприятий на подконтрольных объектах, является неэффективная работа производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности (далее – ПКБ).

Указанная формулировка присутствует непосредственно в 7 ежегодных бюллетенях и в 3 – косвенно. Важно отметить, что ответа на вопрос «что же такое эффективная работа производственного контроля» до настоящего времени нет, как нет и методологии оценки. Данный вывод подтверждается проведенным анализом научных публикаций и диссертаций в области промышленной безопасности за период с 1997 по 2020 годы.

Риск возникновения аварий, инцидентов и смертельного травматизма на ОПО можно снизить эффективным управлением промышленной безопасностью данных объектов, для чего необходимо периодически оценивать функционирование системы ПКБ. Эта оценка в свою очередь дает возможность оперативно и своевременно выявлять «слабые места» в промышленной безопасности ОПО и принимать превентивные меры для предупреждения аварий.

Оценка функционирования системы ПКБ на объектах нефтегазодобывающей отрасли выгодна как для эксплуатирующих эти объекты организаций, так и государственным надзорным органам. При этом, в настоящее время в Российской

Федерации отсутствуют нормативно-правовые акты, регламентирующие данную процедуру.

Для оценки функционирования системы ПКБ на ОПО необходимо разработать научно-обоснованный подход, позволяющий проводить количественные расчеты показателей. Также необходимы инструменты для дальнейшего совершенствования системы ПКБ.

Степень разработанности проблемы

Решению проблемы совершенствования системы ПКБ на ОПО посвящены исследования ведущих ученых: Шлимовича Ю. Б., Дружинина А.А., Лукьянова И.А., Ширяева В.А., Скрипкина И.Е., Добровольского А.И., Смолина А.В., Волохиной А.Т., Солодовникова А.В. В работах указанных авторов рассмотрены мероприятия по совершенствованию системы ПКБ, индикаторы для оценки различных процессов с точки зрения процессного подхода, но отсутствует целостный подход к оценке функционирования системы ПКБ единым количественным показателем. Поэтому исследования в области оценки функционирования системы ПКБ требуют проработки с точки зрения системности и объективности полученных показателей, а также единой количественной оценки ПКБ.

Соответствие паспорту заявленной специальности

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 05.26.03: п. 2. «Разработка систем информационного обеспечения, управления и государственного надзора в области промышленной и пожарной безопасности», п.15. «Разработка методологических основ и нормативных положений для создания правил обеспечения пожарной и промышленной безопасности при строительстве и эксплуатации предприятий и объектов повышенной опасности».

Цель работы

Разработка методического подхода оценки функционирования и совершенствования системы ПКБ на ОПО нефтегазодобывающей отрасли с учетом специфики эксплуатирующих организаций.

Для достижения цели определены основные задачи исследования:

- 1 Проанализировать статистические данные Ростехнадзора для определения

основных причин возникновения аварий, инцидентов, смертельного травматизма на объектах нефтегазодобывающей отрасли и выявления закономерностей.

2 Провести обзор существующих подходов оценки функционирования системы ПКБ на ОПО.

3 Разработать методику оценки функционирования системы ПКБ на ОПО нефтегазодобывающей отрасли.

4 Оценить эффективность мероприятий совершенствования системы ПКБ на объектах нефтегазодобывающей отрасли.

Научная новизна

1 Получена полиномиальная зависимость количества аварий от количества инцидентов на опасных производственных объектах нефтегазодобычи, результат которой позволил предложить методику оценки функционирования системы производственного контроля безопасности.

2 Предложен новый интегральный показатель, являющийся критерием оценки результативности функционирования системы производственного контроля безопасности на опасных производственных объектах нефтегазодобычи, на основе входных параметров оценки функционирования системы производственного контроля безопасности: коэффициента выявления несоответствий ($K_{в.н.}$), показателя ранга группы несоответствий ($ПРГН$), коэффициента устранения несоответствий ($K_{у.н.}$), коэффициента повторения несоответствий ($K_{п.н.}$). Для расчета ПРГН разработана методика определения показателя ранга несоответствия и показателя ранга группы несоответствий.

Теоретическая значимость работы заключается в научном обосновании оценки функционирования системы ПКБ, в частности, методов ранжирования несоответствий для принятия корректирующих и предупредительных мер, выбора и количественной оценки параметров, влияющих на интегральный показатель функционирования системы ПКБ. Кроме того, сформулированные в нем выводы и предложения могут быть использованы в процессе дальнейшего совершенствования законодательства Российской Федерации в области промышленной безопасности.

Практическая значимость работы

Разработанные в ходе диссертационного исследования методики, использованы в стандартах предприятия АО «Комнедра» по определению показателя ранга несоответствия и показателя ранга группы несоответствий, оценке функционирования системы ПКБ.

Разработанные на основании результатов исследований инструктивные карты используются для подготовки лиц, ответственных за осуществление производственного контроля ООО «Нефтегазпромтех». Применение инструктивных карт позволяет снизить временные затраты на изучение, повысить качество изучения учебных материалов, а также сократить сроки проведения проверок.

Разработанные алгоритмы проведения проверок на ОПО и кликабельный прототип программного продукта были апробированы в АО «Комнедра» и получили рекомендации к разработке.

Методология и методы исследования

Для достижения цели и решения поставленных задач применялись такие методы исследования как обобщение, классификация, поиск закономерностей, методы аналогий и экспертных оценок. Для обработки и оценки результатов исследований применялись методы математического анализа, в частности метод корреляционного анализа по критерию конкордации, кластерный анализ. Для анализа риска применялся вероятностно-эвристический метод («дерево отказов»).

Положения, выносимые на защиту:

- 1 Целесообразность внедрения в систему управления промышленной безопасностью интегрального показателя для оценки функционирования ПКБ.
- 2 Методика оценки функционирования системы ПКБ, позволяющая оценивать его результативность от 1 до 5 баллов.
- 3 Мероприятия по совершенствованию системы ПКБ, позволяющие снизить частоту разгерметизации трубопровода на 50 % и РВС на 65,2 %.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов работы обеспечивается использованием широко апробированных методов и валидизированных методик исследования, большим объемом прикладных исследований на действующих предприятиях

нефтегазодобывающей отрасли. Полученные результаты по оценке функционирования системы ПКБ схожи с результатами теоретических исследований.

Основные положения работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и научно-технических мероприятиях: Международная молодежная научная конференция «Севергеозкотех-2015» (Ухта, 2015); XIII International congress winter session «Machines, Technologies, Materials» (Varna, 2016); II Международная научно-техническая конференция молодежи ПАО «Транснефть» (Ухта, 2016); конференция «Севергеозкотех-2017» (Ухта, 2017); Республиканский молодежный инновационный конвент «Молодежь – будущему Республики Коми» (Ухта, 2017); Двенадцатая Всероссийская конференция молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности» (газ, нефть, энергетика) (Москва, 2017); Конференция молодых ученых и специалистов АО «Комнедра» (Усинск, 2017); Международная конференция «Рассохинские чтения» (Ухта, 2018); Всероссийская научно-практическая конференция «Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов» (Уфа, 2018); 73-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ -2019» (Москва, 2019); Конференция молодых специалистов АО «Комнедра» (Усинск, 2019); Конференция молодых специалистов ГК АО «НК «Нефтиса» (Москва, 2019).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 16 научных трудов, их них 6 статей в ведущих рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, в том числе 2 статьи в журналах, входящих в международную базу цитирования Scopus.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников из 132 наименований, приложений. Содержание диссертации изложено на 168 страницах, включая 45 рисунков, 30 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** приведена общая характеристика диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна и практическая ценность работы.

В **первой главе** рассмотрены статистические данные Ростехнадзора по аварийности за 2003 – 2020 гг. на объектах нефтегазодобычи, которые показали, что несмотря на наличие и функционирование систем управления промышленной безопасностью (далее – СУПБ) и систем ПКБ, на предприятиях отсутствует устойчивая динамика уменьшения количества аварий, инцидентов, смертельного травматизма и ущерба на ОПО. По результатам анализа установлена прогностическая полиномиальная зависимость аварийности от инцидентов в диапазоне от 0 до 12000 инцидентов (Рисунок 1). Для получения более статистически значимых выводов требуется дальнейший сбор данных.

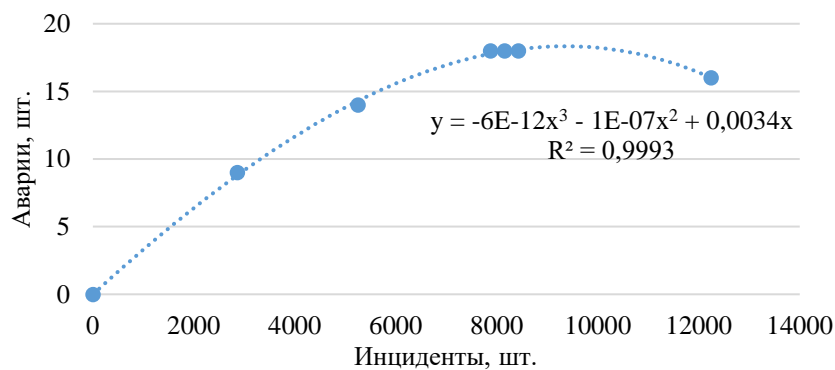


Рисунок 1 – Зависимость аварий от инцидентов

Проведенный анализ причин аварий, а также нарушений, выявленных при проверках Ростехнадзора и служб производственного контроля предприятий, свидетельствует, что одной из основных причин является неэффективная работа ПКБ. В свою очередь, причина неэффективной работы ПКБ, преимущественно связана с недостаточным контролем со стороны персонала за соблюдением требований нормативно-правовых актов и проведением испытаний, технических освидетельствований технических устройств, ремонтом, поверкой КИПиА.

Во **второй главе** рассмотрены нормативно-правовые основы осуществления ПКБ на ОПО РФ и установлено, что ПКБ выполняет контрольно-надзорную функцию в СУПБ. Дальнейший анализ стандартов по организации и осуществлению ПКБ нефтегазодобывающих предприятий показал, что основным недостатком является

отсутствие единого подхода к количественной оценке функционирования системы ПКБ, направленного на предупреждение аварий, инцидентов.

Дополнительно, к существующему процессному подходу к ПКБ как к системе управления, предложен и обоснован системный подход. Установлено, что для должного функционирования ПКБ необходимо управлять несоответствиями на ОПО и не позволять переходить им в область инцидентов и аварий.

Проведен обзор критериев «эффективность», «результативность», «интегральный показатель». С точки зрения проактивности в достижении цели ПКБ наиболее предпочтительным является оценка интегрального показателя функционирования системы ПКБ (далее – ИП_{ПКБ}).

При оценке функционирования системы ПКБ необходимо учитывать совокупность влияющих на нее количественных и качественных параметров. Предлагаемая функция зависимости определяется:

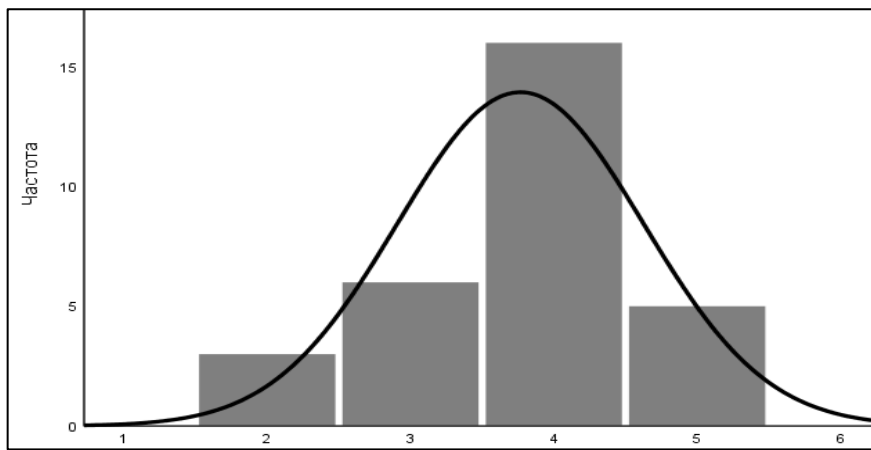
$$\text{ИП}_{\text{ПКБ}} = F (\text{П}_{\text{функ.ПКБ}}) \quad (1)$$

где $\text{П}_{\text{функ.ПКБ}}$ – параметры, влияющие на оценку функционирования системы ПКБ.

В рамках планирования эксперимента, на основании анализа научных работ и стандартов предприятий по осуществлению ПКБ на ОПО, рассмотрены существующие и возможные 19 параметров к оценке функционирования системы ПКБ на ОПО различных производств, разбитых по 3 группам, которые возможно применить с определенными допущениями для оценки ИП_{ПКБ} (Таблица 1).

Для выявления и обоснования основных параметров использован метод экспертных оценок - анкетный опрос, в котором приняли участие 30 экспертов из числа руководителей и специалистов нефтегазодобывающих предприятий Республики Коми, соответствующих заявленным условиям. В анкете экспертам предлагалось оценить значимость (степень влияния) 19 параметров по 6-ти балльной шкале: от 0 баллов – полностью не позволяет оценить, до 5 баллов - полностью позволяет оценить.

Для анализа разброса и согласованности мнений экспертов с помощью методов описательной статистики были рассчитаны величины среднего значения, дисперсии и стандартного отклонения. По результатам построения законов распределения установлено, что распределение значений оценок экспертов по параметрам совпадает с нормальным (Рисунок 2).



Ср. значение = 3,8

Ст. отклон. = 0,86

$N = 30$

χ^2 эмп. = 2,96

χ^2 теор. = 3,84

$p = 0,05$

H_0 - принимается,
нормальное распределение

Рисунок 2 – Проверка нормальности распределения по параметру № 14

Далее, для анализа согласованности мнений экспертов проведен анализ достоверности с помощью коэффициента конкордации Кенделла (W). Проведенные расчеты показали, что итоговый W принимает значение 0,79 при уровне значимости $p=0,05$. Соответственно, отобранные эксперты образуют согласованную группу.

Все параметры, оцениваемые экспертами, имеют различия в их соответствии для оценки системы ПКБ. Соответственно, по степени смещения кривой нормального распределения можно судить о том, насколько каждый параметр соответствует своей задаче. Таким образом, проведенное исследование показывает, что 19 параметров разбиваются на 3 группы, которые имеют разные степени информативности для оценки ИП_{ПКБ} (высокую, среднюю и низкую).

Для определения групп параметров применен кластерный анализ, который позволил получить 3 условные группы в результате измерения между ними расстояния методом Уорда, мерой Миньковского. Кластерный анализ позволил провести довольно четкие границы между параметрами по степени их информативности. К первому кластеру отнесены параметры со средним значением ниже 2,45 баллов, ко второму кластеру – от 2,45 до 4 баллов, к третьему - выше 4 баллов. Полученные результаты позволяют делать выводы о степени применимости параметров для различных задач оценки системы ПКБ. По итогам анализа установлено, что наиболее применимы для оценки ИП_{ПКБ} 3 параметра со средним выше 4 (№№ 17, 18, 19).

Проведенный анализ вероятности попадания случайной величины по каждому параметру в интервал от 4 до 5 баллов подтверждает указанный вывод. Информативность параметров №№ 17, 18, 19 составляет более 60 %.

Результаты обработки экспертных оценок представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Результаты анализа экспертных оценок о возможности применения параметров при оценке ИП_{ПКБ}

№	Возможные параметры для оценки функционирования системы ПКБ	Среднее, балл	Информативность, %
I. Данные по техногенным событиям (аварии, инциденты, травматизм)			
1	Абсолютные показатели по авариям, инцидентам и производственному травматизму (в динамике)	2,2	0,3
2	Относительные показатели по авариям, инцидентам и производственному травматизму (с учетом различных данных – объема продукции и т.д.)	3,8	33,0
3	Анализ причин аварийности, травматизма, и расчеты средневзвешенного показателя с применением экспертной оценки	3,7	29,3
4	Результаты риск-анализа	3,7	31,5
5	Данные о внеплановых потерях	2,1	0,7
II. Данные по результатам внешних проверок			
6	Результаты внешних проверок (кроме проверок государственных контрольно-надзорных органов)	3,4	16,5
7	Результаты надзорной и контрольной деятельности государственных органов	2,8	3,5
8	Данные об административных штрафах на должностных и юридических лиц за нарушения требований ПБ	0,9	0
9	Данные о количестве (%) устраненных нарушений, выявленных контрольно-надзорными государственными органами	1,7	0,1
III. Данные по результатам внутренних проверок			
10	Наличие информации о назначении работников, ответственных за осуществление и организацию ПКБ	2,0	1,0
11	Данные об участии ответственных лиц в производственном контроле	3,7	29,0
12	Данные о наличии плана мероприятий по обеспечению промышленной безопасности на год	3,4	21,4
13	Данные о наличии предложений по обеспечению ПБ, внесенных руководству предприятия при осуществлении ПКБ	3,3	16,5
14	Данные о соотношении выполненных мероприятий Программы по устранению нарушений требований безопасности к реактивному показателю аварийности	3,8	31,8
15	Данные о выполнении планов внутренних проверок	4,0	36,4
16	Данные о количестве выявленных нарушений	3,8	34,7
17	Данные о количестве (%) устранения выявленных нарушений	4,3	61,6
18	Данные о количестве (%) повторяющихся нарушений	4,4	61,8
19	Данные о степени опасности выявленных нарушений (ранг нарушения по риску аварий)	4,4	61,8

Третья глава посвящена разработке методики оценки функционирования системы ПКБ на ОПО нефтегазодобывающей отрасли.

Исходя из системного подхода к ПКБ, ориентированном на управлении несоответствиями в целях недопущения инцидентов и аварий на ОПО, а также выделенных ранее 3-х параметров оценки ИП_{ПКБ}, выдвинута следующая гипотеза:

Качественное функционирование системы ПКБ заключается в соблюдении 4-х поэтапных циклических процедур:

I проведение проверок и выявление несоответствий;

II риск-анализ и ранжирование несоответствий;

III принятие корректирующих мер и устранение несоответствий;

IV принятие предупредительных мер и недопущение повторения несоответствий.

Для оценки уровня поддержки гипотезы проведена ее экспертная оценка путем анкетирования по 6-ти балльной шкале: от 0 баллов – абсолютно не согласен, до 5 баллов – полностью согласен. Обработка мнений ранее отобранных экспертов подтвердила достаточно высокий уровень поддержки гипотезы (4,9 баллов из 5).

На основании гипотезы, для каждой задачи ПКБ из постановления Правительства РФ № 2168, определены процедуры, направленные на их достижение и соответствующие им параметры (Таблица 2).

Таблица 2 – Соответствие процедур системы ПКБ задачам ПКБ

№ пункта гипотезы	Пункт задачи ПКБ*	Процедура ПКБ, направленная на достижение задач ПКБ	Параметр (индикатор) процедуры ПКБ
I	В Д	Выявление несоответствий	$K_{в.н.}$ – коэффициент выявления несоответствий
II	А	Ранжирование несоответствий	$ПРГН$ – показатель ранга группы несоответствий
III	Б	Устранение несоответствий	$K_{у.н.}$ – коэффициент устранения несоответствий
IV	Г	Недопущение повторения несоответствий	$K_{п.н.}$ – коэффициент повторения несоответствий

***Расшифровка пунктов задач ПК из постановления Правительства РФ № 2168:**

- а) анализ состояния промышленной безопасности ОПО, в том числе путем организации проведения соответствующих экспертиз и обследований;
- б) организация работ по разработке мер, направленных на улучшение состояния промышленной безопасности, а именно: на предупреждение аварий, инцидентов и несчастных случаев на ОПО;
- в) контроль за соблюдением требований промышленной безопасности, установленных федеральными законами и принимаемыми в соответствии с ними нормативными правовыми актами, а также локальных нормативных актов эксплуатирующей организации по вопросам промышленной безопасности;
- г) координация работ, направленных на предупреждение аварий на ОПО, и обеспечение готовности к локализации аварий и ликвидации их последствий;
- д) контроль за своевременным проведением необходимых испытаний и технических освидетельствований технических устройств, применяемых на ОПО, ремонта и поверки контрольных средств измерений.

Таким образом, существующая структура системы ПКБ дополнена блоком «Управление несоответствиями», инструментами и представляет собой методический подход к совершенствованию системы ПКБ (Рисунок 3).

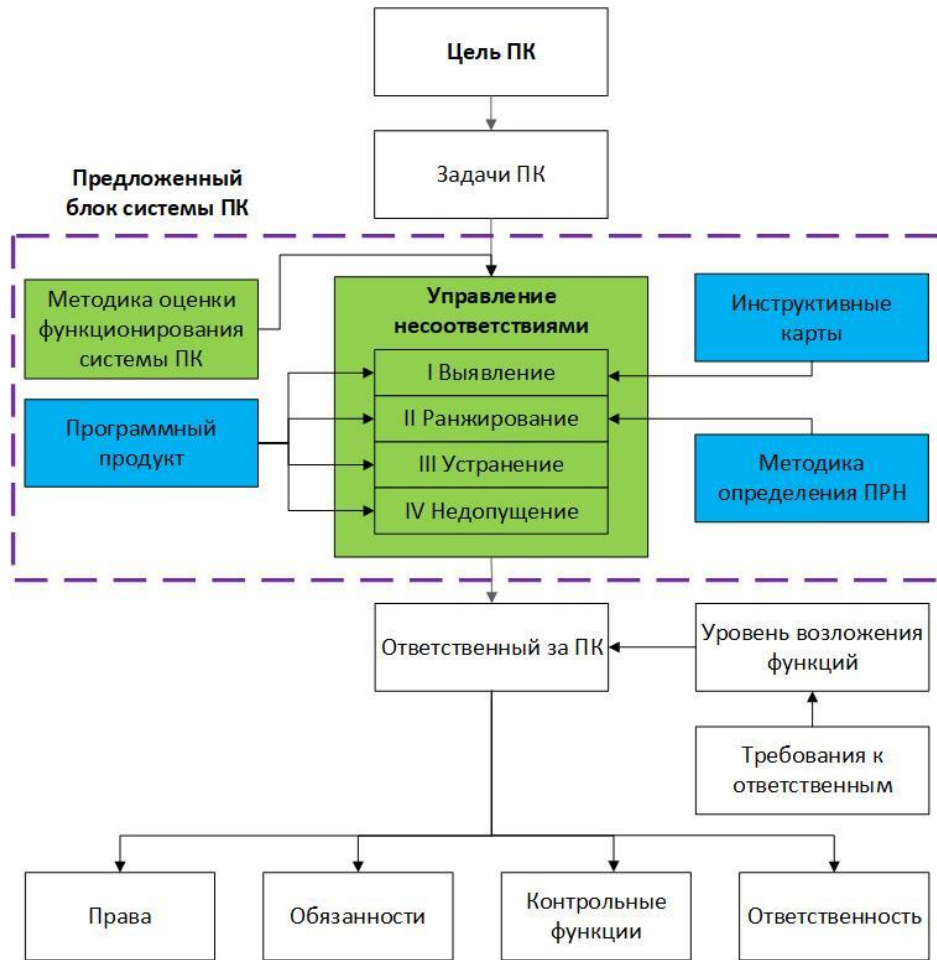


Рисунок 3 – Предлагаемая структура системы ПКБ

На основании гипотезы и полученных выводов предложена функция зависимости ИП_{ПКБ} от параметров процедур I – IV:

$$\text{ИП}_{\text{ПКБ}} = F(K_{\text{в.н.}}; \text{ПРГН}; K_{\text{у.н.}}; K_{\text{п.н.}}). \quad (2)$$

В дальнейшем были проведены работы по определению значений этих параметров. Предложенная формула 2 позволила выявить 2 дополнительных параметра ($K_{\text{в.н.}}$ и ПРГН), а остальные 2 ($K_{\text{у.н.}}$ и $K_{\text{п.н.}}$) - были ранее определены из анализа стандартов. Далее приведено описание каждого из 4 параметров. Коэффициенты $K_{\text{в.н.}}$, $K_{\text{у.н.}}$, $K_{\text{п.н.}}$ предложены на основании анализа данных контрольно-профилактических проверок, а ПРГН

– на экспертной оценке характеристик несоответствий рассчитываемый по отдельной разработанной методике.

$K_{в.н.}$ — параметр внутренних проверок, оценивает выявление всех возможных на ОПО несоответствий. Рассчитывается:

$$K_{в.н.} = \frac{N_{в.н.ф.}}{N_{в.н.п.}}, \quad (3)$$

где $N_{в.н.ф.}$ — фактическое количество проверенных возможных несоответствий на ОПО; $N_{в.н.п.}$ — плановое количество всех возможных на ОПО несоответствий, максимальный размер ограничен существующими требованиями безопасности, отраженными в нормативно-правых актах, и количеством элементов ОПО (устройства, процессы и т.д.). Диапазон $K_{в.н.}$ — от 0 до 1. Чем ближе к 1, тем больше возможных несоответствий из планового количества $N_{в.н.п.}$ проверено, качество проверок выше и выявляется большее количество существующих на ОПО несоответствий.

Показатель ранга группы несоответствий (далее – *ПРГН*) — параметр уровня промышленной безопасности элемента ОПО, оценивает риски выявленных несоответствий и определяет приоритетность принятия мер. Рассчитывается по разработанной методике. Диапазоны *ПРГН* — от 1 до 3. Чем ближе к 1, тем ниже уровень промышленной безопасности элемента ОПО и хуже функционирует система ПКБ.

$K_{у.н.}$ — параметр корректирующих мер, оценивает устранение выявленных несоответствий в установленные сроки. Рассчитывается:

$$K_{у.н.} = \frac{N_{у.н.ф.}}{N_{у.н.п.}}, \quad (4)$$

где $N_{у.н.ф.}$ — фактическое количество устраненных в срок несоответствий;

$N_{у.н.п.}$ — плановое количество устраненных в срок несоответствий.

Диапазон $K_{у.н.}$ варьируется от 0 до 1: 0 – отсутствуют устраненные в установленные сроки несоответствия, а 1 – все несоответствия устранены в срок.

$K_{п.н.}$ — параметр предупредительных мер, оценивает работу по недопущению повторения несоответствий. Рассчитывается:

$$K_{п.н.} = 1 - \frac{N_{п.н.}}{N_{н.}}, \quad (5)$$

где $N_{п.н.}$ — количество повторяющихся несоответствий; N_n — общее количество выявленных несоответствий. За повторяющиеся несоответствия приняты те, которые после их устранения выявляются при проверках на ОПО более 2 раз. Очевидно, чем больше обнаружено повторяющихся несоответствий, тем хуже функционирует система ПКБ и не ведется предупредительная работа. Диапазон $K_{п.н.}$ от 0 до 1, где 0 – все несоответствия повторяются, а 1 – повторяющиеся несоответствия отсутствуют.

В качестве основного математического аппарата для оценки функционирования системы ПКБ, где недостаточно статистических данных о связи множества параметров системы ПКБ с инцидентами, авариями и результатами функционирования ПКБ, выбрано нечеткое логическое моделирование

На Рисунке 4 представлен алгоритм двухуровневой системы оценки функционирования системы ПКБ, где на первом уровне используется математический аппарат расчета средневзвешенных показателей, на втором уровне – математический аппарат теории нечетких множеств. При оценке ИП_{ПКБ} использован алгоритм нечеткого логического вывода Мамдани, в котором:

- при агрегировании подусловий применяются логические операции мах-дизъюнкции;
- при аккумуляции заключений правил проводится объединение нечетких множеств по формуле мах-дизъюнкции;
- при деффазификации используется метод центра тяжести.

Далее приведены результаты нечеткого моделирования основных этапов оценки функционирования системы ПКБ и фрагменты рисунков с программы MATLAB Fuzzy Logic Toolbox.

Рассмотрен подробнее начальный этап, на котором осуществляется фазификация. Через x_i обозначена входная переменная — « i -й параметр системы ПКБ». Соответствующее переменной терм-множество обозначено через $T_{x_i} = \{\text{очень плохо, плохо, удовлетворительно, хорошо, отлично}\} = \{X1_i, X2_i, X3_i, X4_i, X5_i\}$.

Выходной переменной y является «ИП_{ПКБ}», которому соответствует аналогичное терм-множество $T_y = \{\text{очень плохо, плохо, удовлетворительно, хорошо, отлично}\} = \{Y1, Y2, Y3, Y4, Y5\}$.

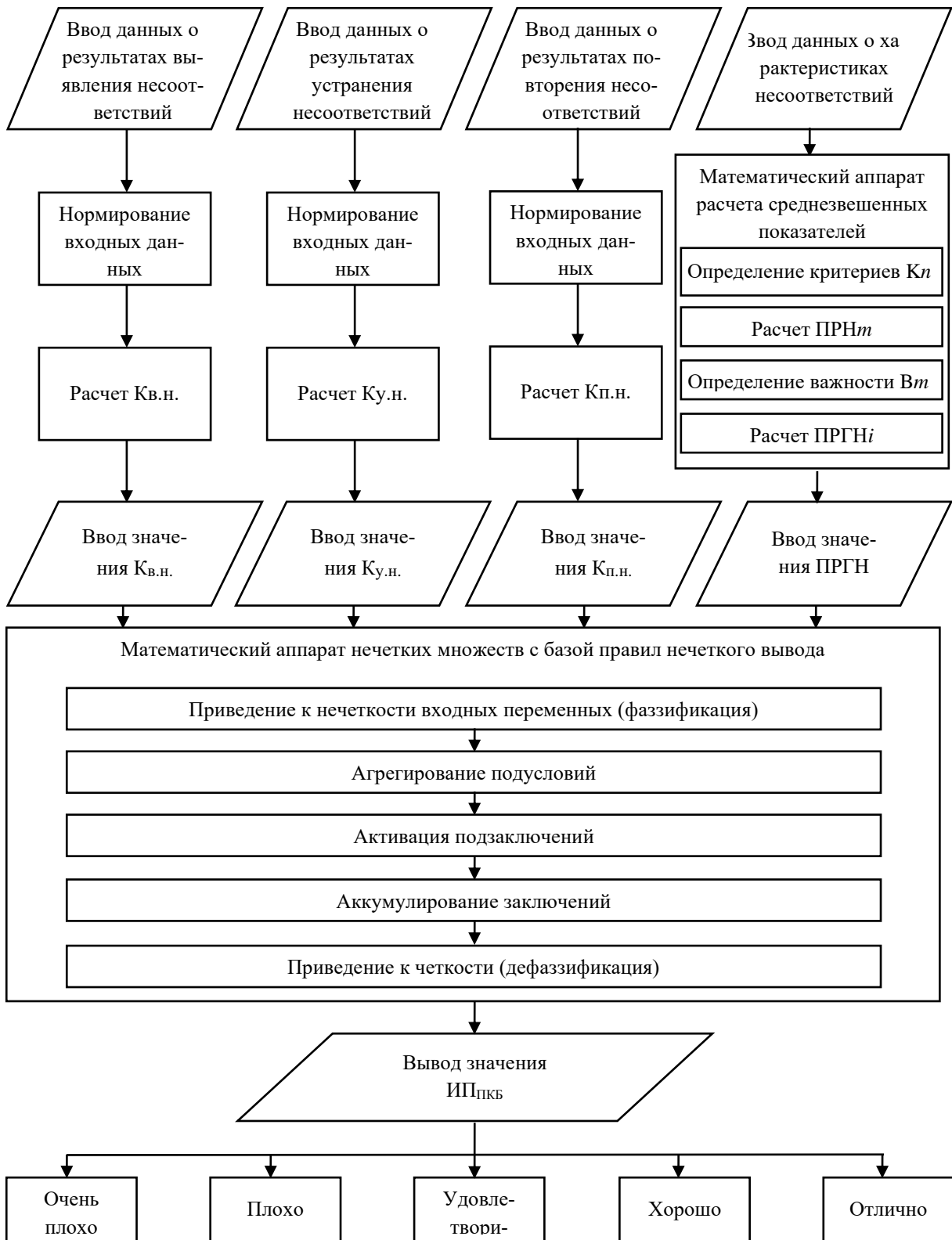


Рисунок 4 – Алгоритм оценки функционирования системы ПКБ

Особое внимание на этапе фаззификации уделено выделению диапазонов «очень плохо», «плохо», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично» и определению функции принадлежности. Для входных переменных x_i и выходной переменной y диапазоны выглядят в виде накладывающихся друг на друга треугольников (Рисунок 5).

Выводы основаны на экспертной оценке зависимостей между параметрами и ИП_{ПКБ}.

После получения нечеткого выхода (y) на этапе дефазификации (Рисунок 6), находится соответствующее ему четкое значение y_{out} методом центра тяжести (6).

$$y_{out} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \mu(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(y_i)}, \quad (6)$$

где $\mu(y_i)$ — функция принадлежности i -го правила;

n — число правил нечеткой продукции.

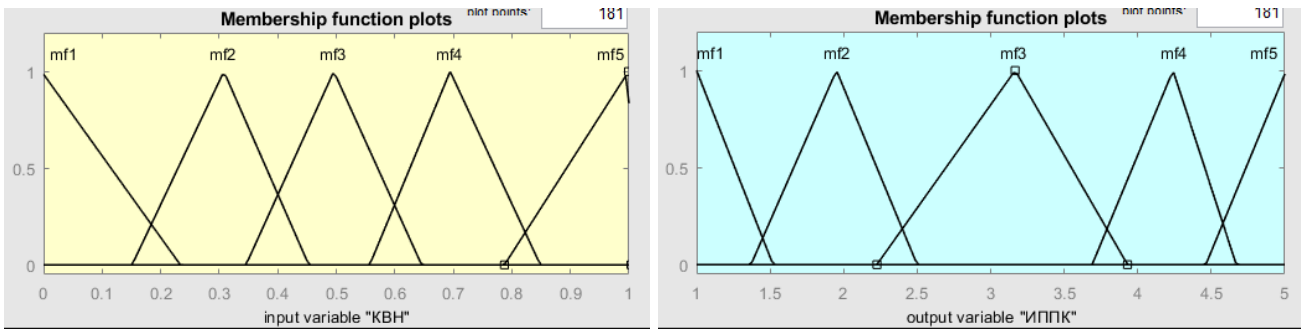


Рисунок 5 – Фрагмент вида функции принадлежности для $K_{в.н.}$ и ИП_{ПКБ}

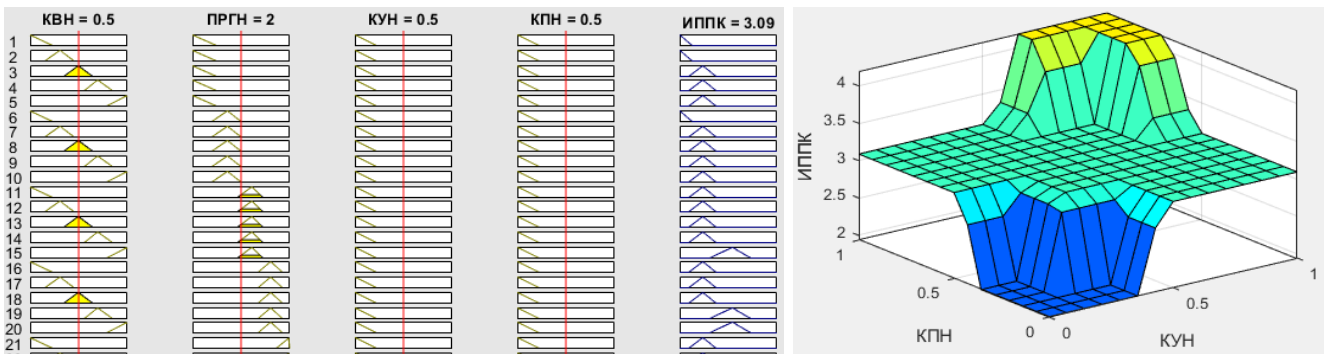


Рисунок 6 – Фрагменты окна программы просмотра нечеткого вывода Мамдани и поверхности нечеткого вывода для модели зависимости «ИП_{ПКБ}» от « $K_{у.н.}$ » и « $K_{п.н.}$ »

Доказано, что математический аппарат нечеткой логики применим в случаях, когда имеющейся количественной информации о комплексном влиянии параметров ПКБ на его интегральный показатель недостаточно, либо она недостаточно полная для получения надежных статистически значимых выводов.

В четвертой главе диссертации описана оценка влияния разработанного

методического подхода на снижение аварийности на ОПО нефтегазодобычи путем совершенствования системы ПКБ, а именно:

- разработки методики определения показателя ранга несоответствия и показателя ранга группы несоответствий;
- разработки инструктивных карт для подготовки лиц, ответственных за осуществление ПКБ;
- обоснования и разработки программного продукта для смартфонов и персональных компьютеров для проведения внутренних проверок на ОПО.

Каждое из мероприятий влияет на функционирование системы ПКБ.

Так для процесса I предложена инструктивная карта как инструмент обучения и повышения компетенций персонала; для процесса II – методика определения показателя ранга несоответствия и показателя ранга группы несоответствий для риск-анализа и определения приоритетности корректирующих, предупредительных мер.

Инструктивные карты являются видом производственных инструкций, в котором указываются последовательность выполняемых рабочим операций с их графическим изображением, а также требования к применяемому оборудованию, материалам, инструментам, спецодежде, спецобуви, средствам индивидуальной защиты и т.д. Основными элементами инструктивных карт являются структурированные и визуальные средства подачи информации (Рисунок 7).

Часть 1. Характеристика оборудования			
Часть 2. Требования безопасности труда при выполнении работ			
Таблица 2.1.1 - Вредные и опасные производственные факторы, и меры снижения или устранения воздействия данных факторов на работника.			
Вредные и опасные производственные факторы		Меры снижения и/или устранения воздействия	
Указывается наименование		Указываются меры по снижению и/или исключению воздействия данного фактора на работника	Фотография
2.2 Инструменты, оборудование, СИЗ, необходимые для выполнения работ			
Наименование		Изображение	
Указывается наименование		Фотография	
Часть 3. Порядок проведения и меры безопасности при выполнении работ			
3.1. Организационные мероприятия			
№ операции	Содержание и последовательность выполнения элементов операций (численный состав работников – 3 человека). Особое внимание при проведении операции		
	Работник 1	Работник 2	Работник 3
1	Выполняет функцию 1.	Выполняют функцию 1.1.	

Рисунок 7 – Фрагмент формы инструктивной карты

По результатам экспериментальной работы по оценке результатов внедрения инструктивных карт в ООО «Нефтегазпромтех» было отмечено снижение количества ошибок в последовательности выполнения операции на 50 %, ошибок по безопасным методам и приемам труда - на 70 %; времени выполнения операции - на 15 %.

В Методике определения ПРН и ПРГН предлагается ранжирование несоответствий и группы несоответствий, на основании расчета средневзвешенных показателей по Формулам 7, 8 через критерии и важности (Таблицы 3, 4).

Таблица 3 – Критерии и важность несоответствия

Характеристика	Критерии (К _n)	Важность (В _n)
Тяжесть последствий инцидента, аварии	от 1 до 3	10
Тяжесть последствий производственного травматизма	от 1 до 3	10
Вероятность возникновения аварии	от 1 до 3	10
Вероятность возникновения инцидента	от 1 до 3	5
Вероятность наступления производственного травматизма	от 1 до 3	10
Затраты на устранение последствий происшествия	от 1 до 3	9
Затраты на устранение несоответствия	от 1 до 3	7
Время, необходимое для устранения несоответствия	от 1 до 3	6
Повторяемость несоответствия при проверках	от 1 до 3	3
Отсутствие изменения тяжести и вероятности происшествия с течением времени (отсутствие накопительного эффекта)	от 1 до 3	2

$$\text{ПРН}_m = \frac{\sum_{n=1}^n V_n \times K_n}{\sum_{n=1}^n V_n}, \quad (7)$$

$$\text{ПРГН}_i = \frac{\sum_{m=1}^m V_m \times \text{ПРН}_m}{\sum_{m=1}^m V_m}, \quad (8)$$

V_n – важность n -ой характеристики

K_n – критерий n -ой характеристики

n — число характеристик

ПРН_m – показатель ранга m -го несоответствия

V_m – важность показателя ранга m -го несоответствия

m — число несоответствий.

ПРГН_i – показатель ранга группы несоответствий i -го элемента

Таблица 4 – Матрица связи ПРН_m и ПРГН_i с лингвистической переменной

Диапазон значений ПРН_m	Лингвистическая переменная, характеризующая показатели по:		Важность (V_m)
	влиянию на уровень промышленной безопасности	приоритетности устранения	
2,7-3,0	Практический не влияет	В третью очередь	2
2,4-2,7	Небольшое влияние	Во вторую очередь	4
2,0-2,4	Удовлетворительное влияние		6
1,5-2,0	Сильное влияние	В первую очередь	8
1,0-1,5	Очень сильное влияние		10

Методика позволяет определить ПРН каждого несоответствия, а также ПРНГН элемента ОПО (технические устройства, сооружения и т.д.). Практическое применение карт контроля с интегрированными в них ПРН каждого типового несоответствия на ОПО нефтедобывающих производств позволяет существенно повысить результативность проверок на ОПО нефтедобывающих производств.

Разработка и применение программного продукта, работающего по алгоритму, представленному на Рисунке 8, позволяет автоматизировать и воздействовать на все 4 процесса системы ПКБ, так как дает возможность:

- устранять низкий уровень компетентности и мотивации персонала;
- оценивать качество внутренних проверок;
- автоматически ранжировать несоответствий и группы несоответствий;
- контролировать выполнение корректирующих и предупредительных мер, рассчитывать коэффициенты и оценивать ИП_{ПКБ}.

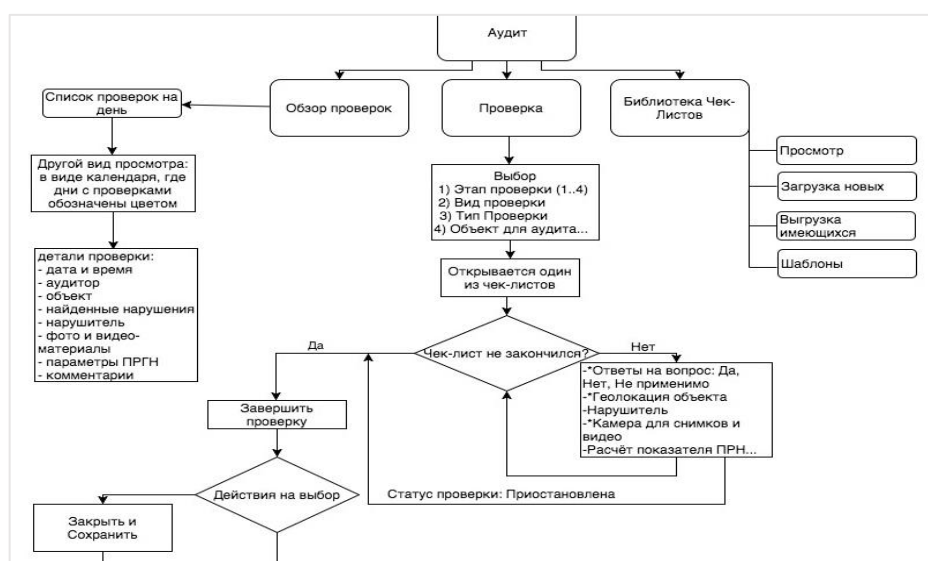


Рисунок 8 – Фрагмент алгоритма работы мобильного приложения

Для оценки эффективности предложенных мероприятий проведен обзор 419 аварий на ОПО нефтегазового комплекса и 57 аварий на ОПО нефтегазодобычи за 2014 – 2021 гг. По итогам анализа построены деревья отказов по разгерметизации трубопровода (Рисунок 9) и РВС, определены базовые частоты отказов. С учетом внедрения всех 3 мероприятий совершенствования системы ПКБ произведен расчет их эффективности (Таблица 5).

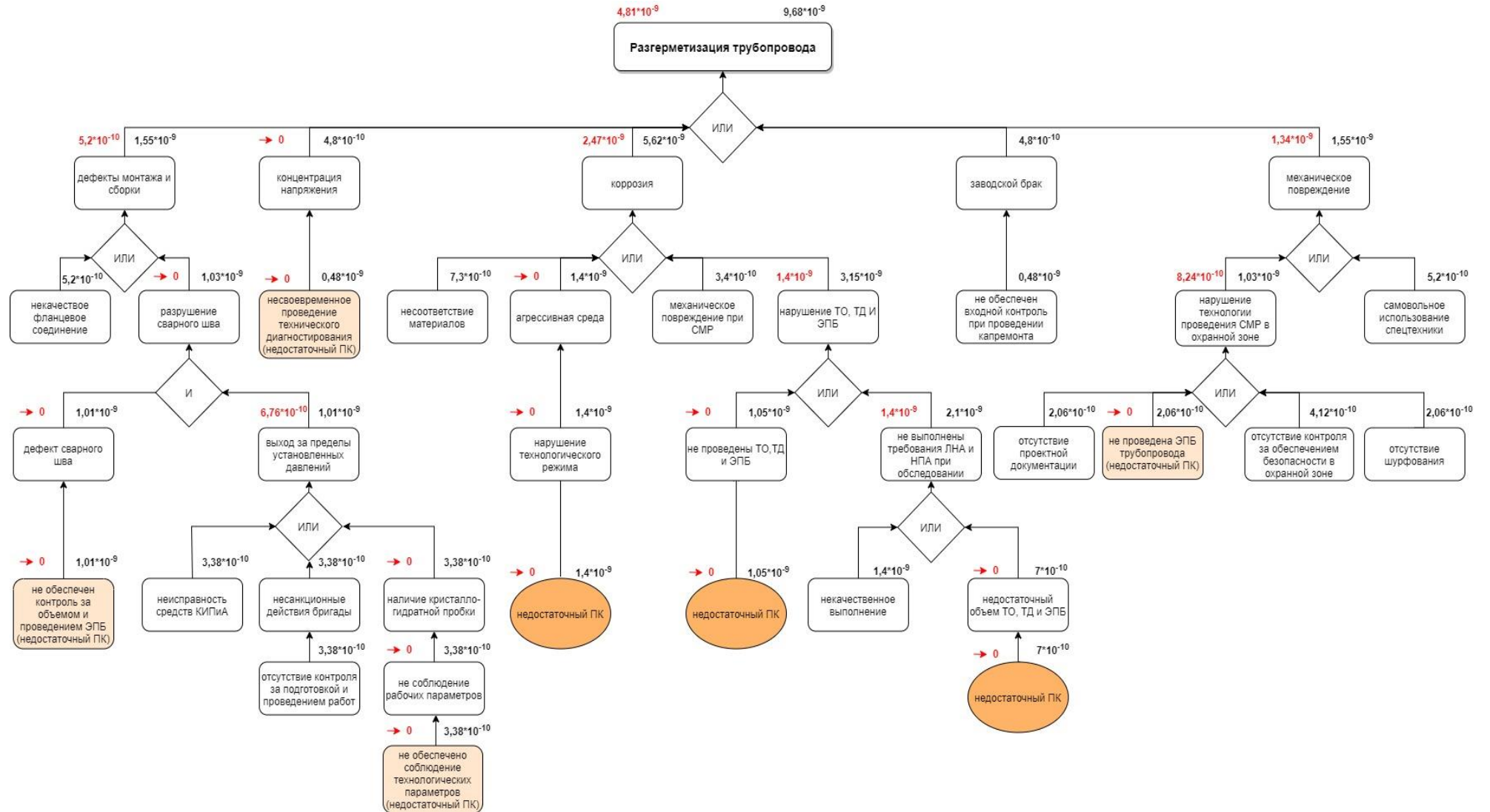


Рисунок 9 – Дерево отказов аварийной разгерметизации трубопровода до и после проведения мероприятий по ПКБ

Таблица 5 – Эффективность мероприятий по совершенствованию системы ПКБ

Показатели	трубопровода	РВС
Частота аварии базовая, год ⁻¹ ·м ⁻¹	$9,68 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Частота аварии после совершенствования системы ПКБ, год ⁻¹ ·м ⁻¹	$4,81 \cdot 10^{-9}$	$3,48 \cdot 10^{-6}$
Эффективность мероприятий совершенствования системы ПКБ	50 %	65,2 %

Эффективность достигается за счет превентивных мер по недопущению корневых причин аварий в рамках выполнения мероприятий ПКБ. Соответственно, при повторной оценке частот аварий было принято, с определенными допущениями, что частоты причин, связанных с ПКБ, пренебрежимо малы и стремятся к нулю.

Таким образом, поведенный анализ среднестатистической частоты аварийной разгерметизации трубопровода и РВС показал, что внедрение мероприятий по совершенствованию системы ПКБ и повышение уровня ИП_{ПКБ} до 5 баллов, снижает среднестатистическую базовую частоту аварийной разгерметизации трубопровода на величину до 50 %, РВС – до 65,2 %.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1 В результате анализа статистических данных Ростехнадзора о причинах аварий и нарушений, выявленных при проверках Ростехнадзора и ПКБ на ОПО нефтегазодобычи за период с 2003 по 2020 гг., выявлена полиномиальная зависимость аварий от инцидентов ($R^2 = 0,9993$) и установлено, что одной из основных причин аварий является неэффективная работа ПКБ. Указанная причина в свою очередь, в большинстве случаев, вызвана недостаточным контролем со стороны персонала за соблюдением требований нормативно-правовых актов и проведением испытаний, технических освидетельствований технических устройств, ремонтом, поверкой КИПиА.

2 По итогам обзора стандартов предприятий и литературы, критериев «эффективность», «результативность», «интегральный показатель» в части ПКБ и подходов к оценке работы системы ПКБ на ОПО различных производств, выделены 19 возможных параметров, которые, с определенными допущениями, могут применяться при оценке ИП_{ПКБ}. По результатам экспертной оценки, кластерного и вероятностного анализа выделены 3 параметра для дальнейшей оценки ИП_{ПКБ}.

3 Разработана методика оценки функционирования системы ПКБ с использованием теории нечетких множеств и экспертного оценивания, учитывающая влияние 4 основных параметров ПКБ: $K_{в.н.}$, $K_{у.н.}$, $K_{п.н.}$, $ПРГН$, для последнего в свою очередь разработана методика определения показателя ранга несоответствия и показателя ранга группы несоответствий.

4 Предложены мероприятия по совершенствованию системы ПКБ и повышению ее качества для ОПО нефтегазодобывающей отрасли:

– разработана методика определения показателя ранга несоответствия и показателя ранга группы несоответствий;

– разработаны пробные экземпляры инструктивных карт для нефтегазодобывающего предприятия и по результатам проведенных экспериментов в ООО «Нефтегазпромтех» доказана результативность их применения;

– разработан кликабельный прототип программного продукта с заранее загруженными типовыми несоответствиями, позволяющий автоматизировать процесс сбора, анализа и контроля результатов проверок.

Проведенный анализ среднестатистической частоты аварийной разгерметизации трубопровода и РВС показал, что внедрение мероприятий по совершенствованию системы ПКБ и повышение уровня ИП_{ПКБ} до 5 баллов, снижает среднестатистическую базовую частоту аварийной разгерметизации трубопровода на величину от 32,5 % до 50 %, РВС – от 36 % до 65,2 %.

Основные результаты работы опубликованы в 16 научных трудах:

Ведущие рецензируемые научные издания, входящие в перечень ВАК:

1 Фатхутдинов Р.И. Инструктивная карта как инструмент предупреждения аварий, инцидентов, производственного травматизма на объектах добычи и транспортировки нефти и газа / Р.И. Фатхутдинов, И.В. Климова // Научно-технический журнал «Нефтегазовое дело». – 2016. – Т. 14. – № 4. – С. 195-199.

2 Фатхутдинов, Р.И. Обзор программных продуктов, позволяющих автоматизировать процедуры производственного контроля на опасных производственных объектах нефтегазодобывающих производств / Р.И. Фатхутдинов, Э.Р. Кабирова, Д.Д. Ахметова, А.В. Солодовников // Нефтегазовое дело. – 2017. – № 6. – С.147-164.

3 Фатхутдинов, Р.И. Ранжирование нарушений требований промышленной безопасности и охраны труда как инструмент повышения безопасности опасных производственных объектов нефтегазодобывающих производств» / Р.И. Фатхутдинов // Нефтегазовое дело. – 2018. – № 3. – С. 19-29.

4 Фатхутдинов Р.И. Анализ причин и последствий аварийности на объектах нефтегазодобычи за 2003 -2019 гг. / Р.И. Фатхутдинов, А.Н. Махнёва // Проблемы сбора, подготовки

и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2021. – № 3 (131). – С. 91-104.

Журналы, входящие в международную базу цитирования Scopus:

1 Фатхутдинов Р.И. Применение методов нечеткого моделирования для оценки эффективности производственного контроля / Р.И. Фатхутдинов, И.В. Климова, Ю.Г. Смирнов // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – № 2. – С. 54 – 59.

2 Фатхутдинов Р.И. Системный подход к оценке функционирования производственного контроля на ОПО нефтегазовой отрасли / Р.И. Фатхутдинов // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 4. – С. 70-75.

Материалы, опубликованные в прочих изданиях:

1 Фатхутдинов, Р. И. Анализ стандартов нефтедобывающих компаний по организации и осуществлению производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасных производственных объектах. Выявление положительных и отрицательных сторон (статья) печ. [Текст] / Р. И. Фатхутдинов // Севергеоэкотех-2015: Материалы XVI международной молодежной научной конференции / ФБОУ ВПО «УГТУ». – г. Ухта, 25 -27 марта 2015 г. – в 6 ч., ч. 4. – С. 57–61.

2 Fatkhutdinov R.I. Improving procedures of training employees by implementing guidance cards safe methods and techniques of work / R.I. Fatkhutdinov, I.V. Afanasyeva // Machines. Technologies. Materials. International scientific journal. – № 10. – 2016. – Pp. 10-12.

3 Фатхутдинов, Р. И. Разработка инструктивной карты безопасных методов и приемов труда / Р.И. Фатхутдинов, А.И. Медведева // Материалы II Международной научно-технической конференции молодежи АО «Транснефть-Север», 30 ноября – 2 декабря 2016 г. – Ухта: УГТУ, 2016. – С. 58-59.

4 Фатхутдинов, Р. И. Разработка и применение карт контроля для проведения проверок на опасных производственных объектах нефтегазодобывающих предприятий / Р.И. Фатхутдинов // Севергеоэкотех-2017: материалы XVIII Международной молодежной научной конференции (г. Ухта, 12 -14 апреля 2017 г.): в 6 ч., ч. 4. Ухта: ФБОУ ВО «УГТУ», 2017. – С. 57-61.

5 Фатхутдинов, Р.И. Разработка инструктивной карты безопасных методов и приемов труда (статья) / Р.И. Фатхутдинов, А.И. Медведева // Севергеоэкотех-2017: материалы XVIII Международной молодежной научной конференции (г. Ухта, 12-14 апреля 2017 г.): 5 ч., ч. 3. Ухта: ФБОУ ВО «УГТУ», 2017. – С. 60-64.

6 Фатхутдинов, Р.И. Контрольно-профилактические проверки как основа производственного контроля на опасных производственных объектах / Р.И. Фатхутдинов, Климова И.В. // Ресурсы Европейского Севера. Технологии и экономика освоения. 2017. – № 1 (07). – С. 29-36.

7 Фатхутдинов, Р. И. Оценка эффективности функционирования систем производственного контроля на опасных производственных объектах нефтегазодобывающих / Р. И. Фатхутдинов // XII Всероссийская конференция молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности» (газ, нефть, энергетика). – Москва: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина и ПАО «Газпром». – 2017. – С. 250.

8 Фатхутдинов Р.И. Критерии оценки эффективности производственного контроля в нефтегазодобывающей отрасли / Р.И. Фатхутдинов, Климова И.В. // Международная конференция «Рассохинские чтения»: материалы международной конференции (1–2 февраля 2018 года). В 2 ч. Ч. 1 / под ред. Н. Д. Цхадая. Ухта: УГТУ, 2018. – С. 279–284.

9 Фатхутдинов, Р.И. Обзор существующих подходов к оценке эффективности производственного контроля / Р.И. Фатхутдинов // Материалы Международной научно-практической конференции «Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов», 22-23 марта 2018 г. – Уфа: Ассоциация «Башкирская ассоциация экспертов», 2018. – С. 36-41.

10 Фатхутдинов, Р. И. Совершенствование системы производственного контроля в АО «Комнедра» / Р.И. Фатхутдинов // 73-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2019»: тезисы докладов, г. Москва, 22-25 апреля 2019 г. – Москва: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2019. – Т. 2. – С. 423-424.