

На правах рукописи



Строгонов Андрей Юрьевич

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
ГАЗСИГНАЛИЗАТОРОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
СИСТЕМАХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРЕПОЖАРНЫХ
И ВЗРЫВООПАСНЫХ РЕЖИМОВ**

Специальность:

2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина».

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Самарин Илья Вадимович

Официальные оппоненты: **Ильюшин Юрий Валерьевич**
доктор технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II, декан

Рябцев Николай Алексеевич
кандидат технических наук, ФКУ «НИЦ
«Охрана» Росгвардии, начальник отдела

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
университет ГПС МЧС России»

Защита диссертации состоится «25» марта 2026 года в 12:00 часов на заседании диссертационного совета ДС 205.002.01 Академии ГПС МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4, зал диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии Государственной противопожарной службы МЧС России и на сайте: <https://academygps.ru/upload/iblock/1c2/p1c2utnpqmsn9g4sy543m2bp9qkbbucw/Диссертация%20Строгонова%20А.Ю..pdf>

Автореферат разослан «30» января 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

Хабибулин Р.Ш.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Составной частью отечественной промышленности являются объекты топливно-энергетического комплекса (ТЭК), состояние пожарной безопасности (ПБ) которых является наиболее важной целью их защиты.

Приоритетные направления государственной политики и мероприятия в области пожарной безопасности определены Указом Президента РФ от 1 января 2018 г. № 2. Одним из них является разработка и внедрение инновационных технологий обнаружения пожаров в начальной фазе их развития. В связи с этим создание новых средств и технологий предотвращения и обнаружения пожаров представляется актуальной задачей.

Одним из стратегически важных объектов ТЭК является нефтеперерабатывающий завод (НПЗ), на котором в процессе разных технологических цепочек хранится и используется масса пожаровзрывоопасных продуктов и сырья, что в свою очередь создает существенную опасность возникновения крупных техногенных аварий. Важно непрерывно обеспечивать сохранность находящихся на данных объектах защиты материальных средств и совершенствовать методы предотвращения опасных ситуаций на протяжении всего технологического цикла на НПЗ.

Наиболее значимыми для предотвращения пожаров мерами являются задачи по информированию дежурной смены объектов о состоянии среды в зоне их ответственности с помощью автоматизированной системы предотвращения предожарных и взрывоопасных режимов (АСППВР). Как правило, большую часть сведений передают газосигнализаторы, датчики которых устанавливаются во всех критически важных с точки зрения возникновения пожаров местах.

Принятая сегодня периодичность работ по их обслуживанию основана на использовании нормативов организации и утвержденных ею графиков технического обслуживания (ТО), что не всегда учитывает реальный расход технического ресурса. Таким образом, в определенный момент времени на участке наружной технологической установки (НТУ) допустимый пожарный риск может быть превышен вследствие неадекватности мониторинга фактического нижнего концентрационного предела распространения пламени из-за необратимого снижения чувствительности термохимических датчиков (ТХД), обусловленного в свою очередь физическим износом, воздействием окружающей среды, отравлением (деактивацией) катализатора чувствительных элементов (ЧЭ) датчика при химическом взаимодействии с инертными газами, а также с кремний-органическими, галогенсодержащими, фосфорорганическими соединениями, соединениями серы.

Проблема исследования заключается в снижении вероятности срабатывания термохимического датчика газосигнализатора при фактическом превышении объемной доли горючего газа или пара в воздушной среде, что усложняет планирование обслуживания элементов АСППВР в особых условиях функционирования объектов ТЭК.

Таким образом, актуальность исследования определяется необходимостью описания нового подхода к планированию сроков выполнения работ по ТО датчиков газосигнализаторов, установленных вокруг наружных технологических установок, в зависимости от скорости расходования технического ресурса. Данный подход

заключается в разработке моделей и алгоритма диагностирования газосигнализаторов в целях улучшения качества принятия решений по обеспечению ПБ на объектах НПЗ.

Степень разработанности темы исследования. Проблемы функционирования автоматизированных систем и технических средств раннего обнаружения пожара на высокорисковых объектах исследовали многие ученые:

1) вопросы диагностики и технического обслуживания АСППВР – Н.Г. Топольский, А.А. Абросимов, А.В. Фёдоров, Н.П. Блудчий, А.Н. Членов, Л.Т. Танклевский, Т.А. Буцынская, А.В. Семериков, Е.Н. Ломаев, Ф.И. Шаровар, Д.М. Арутюнян;

2) вопросы повышения информативности технических и программных средств в составе АСППВР – А.А. Лукьянченко, Ю.В. Прус, А.П. Сатин, А.А. Порошин, М.И. Лебедева, Praveen Sekhar, Wang Bowen, Tomasz Adrikowski, L. Spinelle, M. Aleixandre, M. Gerboles.

Однако в проанализированных работах не представлены математические оценки корректировки времени ТО с учетом расходования технического ресурса. Мало упоминается и математически не формализовано влияние условий внешней среды, связанных с изменением климата, производственными выбросами, топологией. Опубликованные работы зачастую анализируют проблемы использования газовых пожарных извещателей, а не газосигнализаторов. Невелико количество работ, посвященных применению термохимических газосигнализаторов, которые довольно часто используются на современных производственных объектах сегодня. Не в полной мере исследована проблема расхода ресурса датчика и ее связь с действующими подходами к техническому обслуживанию.

Объектом исследования является вспомогательный технологический процесс технического обслуживания автоматизированной системы предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов.

Предметом исследования являются модели и алгоритмы, оказывающие управляющее воздействие на процесс диагностирования газосигнализаторов в автоматизированной системе предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов.

Целью исследования является совершенствование технического обслуживания автоматизированной системы предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов на основе моделей и алгоритмов диагностирования газосигнализаторов.

Поставленная в исследовании цель достигается путем решения следующих **научных задач:**

1. Провести анализ текущего состояния управляемых процессов диагностики газосигнализаторов в АСППВР на объектах НПЗ, особенностей их технического обслуживания, методов размещения, опасных событий и их связи с газосигнализаторами.

2. Разработать группу моделей для оценки числа датчиков, установленных вокруг наружных технологических установок разной формы, и числа мероприятий по их калибровке.

3. Разработать алгоритм расчета регламентированного времени диагностирования газосигнализаторов и количественного состава бригады для его проведения в установленный срок.

4. Провести оценку регламентированного времени проведения мероприятий по ТО газосигнализаторов с учетом применения разработанных моделей.

5. Разработать модель оценки готовности газосигнализаторов к использованию в АСППВР.

6. Разработать предложения по применению выводов, полученных при моделировании, в архитектуре нейронной сети (НС) по оценке качества ТО газосигнализаторов на наружных технологических установках НПЗ.

7. Разработать алгоритм управления диагностическими мероприятиями для подтверждения готовности газосигнализаторов в АСППВР на наружных технологических установках НПЗ с применением нейронной сети.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных в исследовании задач применялись методы системного анализа (при подготовке результатов анализа использования на объектах нефтепереработки газосигнализаторов), методы теории вероятностей и математической статистики (при расчете числа состояний совокупности датчиков, при сборе и анализе статистических данных для главы 1), методы теории случайных процессов (при построении марковской модели оценки готовности газосигнализаторов), методы теории графов (при описании переходов совокупности датчиков между состояниями «готов» и «не готов»).

Научная новизна диссертационной работы заключается в развитии методов моделирования процессов планирования технического обслуживания оборудования нижнего уровня информирования АСУТП. При этом впервые получены следующие научные результаты:

1. Комплекс математических моделей для способа оценки регламентированного времени мероприятий по ТО газосигнализаторов. Модели позволяют последовательно определить число датчиков, установленных вокруг НТУ на объектах переработки нефти, количество мероприятий по их обслуживанию в зависимости от условий внешней среды.

2. Алгоритм расчета регламентированного времени диагностирования газосигнализаторов и количественного состава бригады для его проведения в установленные сроки, позволяющий определить время проведения калибровочных процедур для датчиков газосигнализаторов, требуемое число специалистов для проведения диагностических работ в плановый период.

3. Модель оценки готовности к применению газосигнализаторов в АСППВР, в составе которой разрушительный подпроцесс ПБ описывается марковским случайным процессом.

4. Алгоритм планирования диагностических мероприятий для подтверждения готовности газосигнализаторов в АСППВР на НТУ НПЗ, использующий результаты расчета сверточной нейронной сети (СНС). При разработке архитектуры СНС учтена стратегия ТО по текущему состоянию.

Теоретическая значимость полученных научных результатов заключается в развитии научных представлений об использовании функционирующих сегодня датчиков и газосигнализаторов в реальных условиях обстановки на объектах НПЗ с учетом накопленного опыта их эксплуатации.

Практическая значимость исследования определяется возможностью использования разработанных моделей и алгоритма в системах принятия решений при оценке лицом, принимающим решение (ЛПР), реальной обстановки на объекте. Полученные результаты позволяют дать более точную информацию ЛПР о состоянии и готовности газосигнализаторов к применению с учетом предотвращения перехода их в предаварийные режимы, вызванные влиянием внешних

факторов, что позволит ЛПП оперативно принимать решения, направленные на приведение их в готовность.

Степень достоверности полученных результатов основана на корректности постановки задач, использовании апробированного математического аппарата, четкости и ясности выявляемых эффектов, в том числе на статистике технических параметров процесса диагностирования газосигнализаторов, а также на апробации результатов диссертационного исследования на научно-технических конференциях, публикации результатов работы в печати, сравнении результатов с выводами исследований по аналогичным направлениям.

На защиту выносятся:

1. Результаты анализа использования на объектах нефтепереработки приборов первого уровня информирования АСУТП по классификации в соответствии с физическими методами анализа и по конструктивному исполнению.

2. Группа математических моделей для способа оценки регламентированного времени проведения мероприятий по ТО газосигнализаторов в зависимости от влияния нескольких групп параметров (параметров модели чувствительного элемента датчика, климатических параметров и топологии местности, параметров работы персонала).

3. Алгоритм расчета регламентированного времени диагностирования газосигнализаторов и количественного состава бригады для его проведения в установленный срок.

4. Модель оценки готовности к применению газосигнализаторов в АСППВР, позволяющая оценить динамику переходов состояний совокупности датчиков термохимических газосигнализаторов на объекте НПЗ.

5. Алгоритм планирования диагностических мероприятий для подтверждения готовности газосигнализаторов в АСППВР на НТУ НПЗ, учитывающий выводы сверточной нейронной сети.

Апробация работы. Основные теоретические и практические результаты, представленные в диссертации, докладывались и обсуждались на научных, научно-технических, научно-практических конференциях: XII Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности» (газ, нефть, энергетика) (Москва, 24–27 октября 2017 г.); XII Научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России» (Москва, 12–14 февраля 2018 г.); 72-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2018» (Москва, 23–26 апреля 2018 г.); 73-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2019» (Москва, 22–25 апреля 2019 г.); XIII Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности» (газ, нефть, энергетика) (Москва, 22–25 октября 2019 г.); IX Научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2020» (Москва, 7 апреля 2020); 74-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2020» (Москва, 2020 г.); 75-й Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2021» (Москва, 26–29 апреля 2021 г.); XIV Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности» (газ, нефть, энергетика) (Москва, 14–18 ноября 2022 г.); XII Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2023» (Москва, 25 апреля 2023 г.); VII региональной научно-технической конференции, посвященной 100-летию В.Л. Березина «Губкинский

университет в решении вопросов нефтегазовой отрасли России» (Москва, 19–21 сентября 2023 г.); XV Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности» (газ, нефть, энергетика) (23–25 октября 2023 г.); XIII Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2024» (Москва, 16 апреля 2024 г.)

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 18 работ в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК России (включая 3 работы, индексируемые в международных базах данных), 13 докладов и тезисов – в сборниках научных трудов и материалах международных, всероссийских конференций. Получено 8 свидетельств Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Личный вклад автора. Все выносимые на защиту научные положения разработаны автором лично. Все публикации, в том числе подготовленные в соавторстве, в которых отражено основное содержание диссертационной работы, были инициированы и спланированы автором. В работах, написанных в соавторстве, автору принадлежат разработанные модели, алгоритмы и способы решения поставленных в исследовании задач. Расчеты, представленные в диссертации, получены автором лично на основе применения разработанных моделей, алгоритмов и программ.

Внедрение результатов работы. Результаты, представленные в диссертационной работе автора, использованы и внедрены на нефтеперерабатывающем заводе ООО «Первый Завод», в ООО «Центр мониторинга новых технологий», ООО «Аверс», ООО «СТД – Системы технической диагностики», в научной работе, посвященной разработке и внедрению инновационных средств активной защиты от пожаров зданий и сооружений топливно-энергетического комплекса, расположенных в холодных климатических районах и арктической зоне Российской Федерации, в научно-исследовательской деятельности и учебном процессе Академии ГПС МЧС России, в учебной деятельности РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемых сокращений, списка литературы из 175 наименований и 2 приложений на 19 листах. Общий объем работы составляет 222 страницы текста, 23 таблицы и 45 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко изложена суть проблемы и обоснована актуальность ее решения; определена цель и поставлены задачи по ее достижению; показаны научная новизна и практическая значимость работы; сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу применения газосигнализаторов в автоматизированных системах предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов на объектах НПЗ.

В главе отмечена важность проведения мероприятий по обеспечению ПБ на объектах ТЭК, в частности при течении непрерывных технологических процессов на НПЗ. Описана актуальность исследования мероприятий по ТО газоаналитического оборудования на НТУ НПЗ.

Согласно последним опубликованным данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за 2021 год на опасных

объектах нефтехимических и нефтегазоперерабатывающих производств, а также на объектах нефтепродуктообеспечения основными видами аварий являются пожары (60 % от общего числа) и взрывы (20 % от общего числа).

За 14 лет динамика количества пожаров и взрывов на опасных производственных объектах остается примерно на одном уровне (Рисунок 1), а ущерб от пожаров находится в восходящем тренде (Рисунок 2).

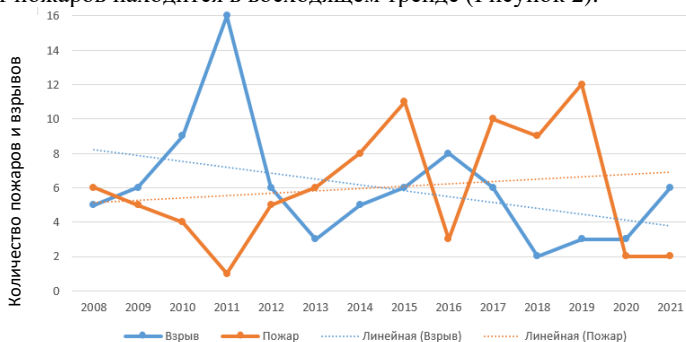


Рисунок 1 – Распределение взрывов и пожаров на опасных производственных объектах нефтехимической и нефтегазоперерабатывающей промышленности за 2008–2021 гг.

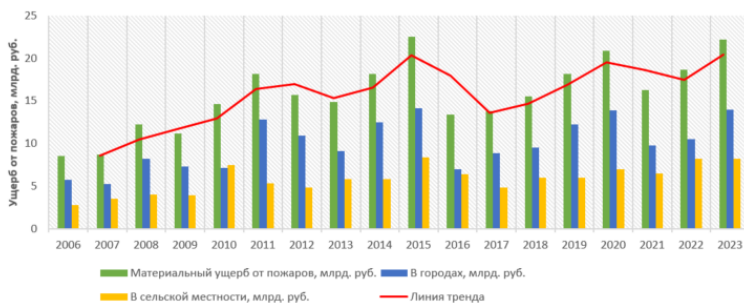


Рисунок 2 – Общий ущерб от пожаров в РФ с 2006 по 2023 гг.

Масштабные объемы ущерба (см. Рисунок 2) говорят о том, что предотвращение пожаров и своевременное реагирование на пожары на начальной стадии их развития с помощью АСППВР есть одна из приоритетных задач обеспечения ПБ объектов НПЗ. С учетом наличия внутри контролируемой зоны таких объектов большого числа разнородных источников образования горючей среды, а также различной природы их возможного возгорания оценка готовности газосигнализаторов к применению становится важной частью достижения указанной цели. По этой причине, учитывая, что начальная фаза развития пожара фиксируется оборудованием нижнего уровня информирования АСУТП, вспомогательный технологический процесс ТО АСППВР приобретает особое значение. Объектом управления в нём служит система датчиков, управляемым воздействием – действия бригад ТО, параметрами – характеристики оборудования, факторы окружающей среды, а также состав операций выполняемого ТО.

Так как применяемые в настоящее время типы газосигнализаторов различны, в работе рассмотрены особенности их конструкции и применения, а также различия в определениях терминов. По общему целевому назначению газосигнализаторы, газовые сигнализаторы, газовые (пожарные) извещатели, газовые датчики,

детекторы, сенсоры, ячейки схожи, однако применяются для разных задач и имеют отличные друг от друга функциональные особенности.

В результате анализа приборов первого уровня информирования АСУТП по классификации в соответствии с физическими методами анализа и по конструктивному исполнению обоснован выбор для целей исследования стационарных термохимических газосигнализаторов, используемых для контроля содержания в воздухе горючих газов, выявления их дозрывных концентраций (ДВК). Определены их ключевые преимущества и недостатки. Проведено их сравнение с оптическими и электрохимическими газосигнализаторами.

При эксплуатации газосигнализаторов особое внимание необходимо уделять калибровке и поверке ТХД. Чувствительные элементы (ЧЭ) после проведения ТО сохраняют требуемую, подтвержденную на поверках, чувствительность в течение более короткого срока по сравнению с указанным в рабочей документации, что связано с дрейфом нулевого уровня средства измерения.

Дрейф нуля вызывают также погодные факторы среды и агрессивные влияния побочных продуктов технологических процессов. Выделение в процессе переработки нефти на НТУ каталитических ядов, негативно влияющих на ЧЭ ТХД, а также погодные условия обуславливают уменьшение интервалов калибровки ЧЭ или ускоренный выход их из строя. Подобное негативное влияние может привести к снижению чувствительности реагента ЧЭ и, как следствие, вероятности его срабатывания при наличии опасной концентрации одного из определяемых им газов. Воздействие этих факторов влечет за собой необходимость корректировки сроков калибровки датчиков.

Наиболее опасное оборудование с точки зрения содержания большого количества взрывопожароопасного вещества (колонны, емкости, печи и др.) находится на НТУ. Процесс возникновения пожара здесь может проходить быстрее и в более сложных условиях, чем в производственных зданиях. От уровня готовности оборудования нижнего уровня информирования АСУТП будет зависеть, перейдет ли опасная ситуация к следующему (и крайне нежелательному) этапу развития или нет.

На основе выполненного анализа поставлены задачи исследования, решение которых позволит внести изменения в процесс технического обслуживания газосигнализаторов, функционирующих в составе АСППВР, с учетом условий неопределенности и большого объема взаимозависимых параметров.

Вторая глава содержит описание моделирования дисциплины технического обслуживания стационарных термохимических газосигнализаторов, установленных вокруг НТУ на объектах переработки нефти и газа. Речь идет о моделировании оценки количества датчиков газосигнализаторов, их готовности к применению, регламентированного времени работы, численности работников при диагностировании газосигнализаторов в АСППВР.

Определен теоретический смысл понятия «дисциплина» применительно к ТО стационарных термохимических газосигнализаторов.

Дисциплина ТО газосигнализаторов представляет собой управляющее воздействие на АСППВР. Для этого она формирует план и его изменения. План составляется на основе цели и функций, характеризующих ее достижение. Так как стационарные термохимические газосигнализаторы являются сложными техническими системами, целевые функции для различных по целям моделей дисциплин ТО будут содержать достаточно большое и различное число параметров. Поэтому целесообразно разделить их на группы, что упрощает целевые функции.

Для построения математической модели в наиболее общем виде рассмотрим группы параметров, которые определяют необходимость проведения мероприятий для поддержания ТХД в требуемом документацией состоянии. Возможные критерии для оценки данной функции:

- нормированная надежность АСППВР, определяемая как отношение числа датчиков, потенциально готовых к использованию в соответствии с документацией, к их общему числу ($Q_{\text{норм}}$);

- количество человеко-часов, необходимое для приведения данной системы в требуемое состояние ($N_{\text{час}}$);

- общие финансовые затраты, необходимые для поддержания единицы оборудования в готовом состоянии (Fin_i).

Для выбора нужной альтернативы в дисциплине ТО или сценарии проведения мероприятий можно использовать критерий ее оценки D_i , основанный на функциях, отражающих зависимости от каждой из групп перечисленных параметров.

В этом случае для одного ТХД можно записать:

$$D_i = \{F_{1i}, F_{2i}, F_{3i}, F_{4i}\}, \quad i = \{1, 2, 3\}, \quad (1)$$

где i – номер критерия функции для дисциплины ТО: 1 – нормированная надежная работа датчика внутри подсистемы оповещения о пожаре; 2 – количество человеко-часов, необходимое для приведения данной системы в требуемое состояние; 3 – общие финансовые затраты, необходимые для поддержания единицы оборудования в готовом состоянии;

F_{1i} – функция, основанная на группе специфических параметров данной модели ЧЭ стационарного термохимического газосигнализатора, влияющая на $Q_{\text{норм}}$ (диапазоны электрического питания сигнализаторов, потребляемой ими электрическая мощность, выходного напряжения, минимального сопротивления нагрузки, токового сигнала при срабатывании, значения пульсации сигнала и т.п.);

F_{2i} – функция, основанная на группе климатических параметров и топологии местности, в которой находится объект НПЗ, влияющая на $Q_{\text{норм}}$ (диапазоны температуры, давления и влажности воздуха, напряженности внешнего магнитного и электрического полей, частоты их вибрации и т.п.);

F_{3i} – функция, основанная на группе параметров работы персонала, от которой зависит $N_{\text{час}}$ и Fin_i (необходимое число ТХД, дата и стоимость закупки, фактическое время хранения до установки, физическое расположение ТХД на объекте, дата установки на позицию, дата ввода в эксплуатацию, даты и количество калибровок, характер и стоимость работ бригад ТО и т.п.);

F_{4i} – функция, основанная на группе прочих параметров (стоимость хранения, время на закупку, время ожидания поставки, стоимость ТО от внешней организации и т.п.).

Для интегральной оценки эффективности дисциплины ТО используем прямоугольную матрицу

$$D_{\text{ТО}} = \begin{pmatrix} F_{11}, & F_{21}, & F_{31}, & F_{41} \\ F_{12}, & F_{22}, & F_{32}, & F_{42} \\ F_{13}, & F_{23}, & F_{33}, & F_{43} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Интегральный критерий в этом случае можно получить в виде свертки матрицы:

$$ID_{\text{ТО}} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 F_{ij}, \quad (3)$$

где F_{ij} – вычисляемые по указанным выше параметрам факторы.

Граничные условия для ID_{T0} определяются при помощи системы неравенств, каждое из которых задаёт интервалы изменений одного из параметров в группах $F_{1i}, F_{2i}, F_{3i}, F_{4i}$ и может отождествляться с координатной осью в многомерном пространстве. Точные значения границ интервалов для большинства параметров можно установить с помощью статистического анализа.

Задача поиска необходимого решения может формулироваться, как

$$\max_{Q_{\text{норм}}} \min_{N_{\text{час}}, Fin_i} ID_{T0}. \quad (4)$$

Решение данной задачи может быть разбито на несколько частей: определение регламентированного числа устанавливаемых датчиков на объекте ТЭК, планового времени ТО, расчета регламентированного времени диагностирования газосигнализаторов и количественного состава бригады для его проведения в установленный срок, модели оценки готовности газосигнализаторов. Финальная оценка значения ID_{T0} при решении задачи (4) будет определяться СНС, учитывающей статистику изменения границ интервалов каждого из параметров в (1).

Исходя из требований ТУ-газ-86 определение регламентированного числа устанавливаемых ТХД вокруг НТУ на объекте ТЭК может быть проведено несколькими способами. Модель оценки для НТУ прямоугольной формы (Рисунок 3):

- для малого периметра:

$$N^{(\text{общ})-\text{мал}} = 1/20 (2P_{\text{Oy}} + 16l_{\text{пер}}^{(1)} + 8l_{\text{пер}}^{(2)}); \quad (5)$$

- для большого периметра:

$$N^{(\text{общ})-\text{бол}} = 1/20 (3P_{\text{Oy}} + 24l_{\text{пер}}^{(1)} + 24l_{\text{пер}}^{(2)}), \quad (6)$$

где P_{Oy} – длина периметра НТУ;

$l_{\text{пер}}^{(1)}$ – регламентированное расстояние до первой линии мест установки датчиков (см. Рисунок 3).



Рисунок 3 – Примерный порядок установки газосигнализаторов первой линии вокруг прямоугольной НТУ

Модель оценки для НТУ в форме произвольного многоугольника (Рисунок 4) для малого периметра:

$$N^{(\text{общ})-\text{мал}} = 1/20 \left[2P_{\text{Oy}} + 4 \sum_{i=1}^{M_{\text{пер}}} \left(k_{\text{уг}} i l_{\text{пер}}^{(1)} / \cos(\beta_i - \pi/2) \right) + 2 \sum_{i=1}^{M_{\text{пер}}} \left(k_{\text{уг}} i l_{\text{пер}}^{(2)} / \cos(\beta_i - \pi/2) \right) \right], \quad (7)$$

где $M_{\text{пер}}$ – число сторон многоугольника;

k_i^{yT} – коэффициент каждого из углов, определяемый как

$$k_i^{yT} = \begin{cases} 0, \beta_i = \pi/2; \\ 1, \beta_i \neq \pi/2; \end{cases}$$

$l_{\text{пер}}^{(2)}$ – регламентированное расстояние от первой до второй линии мест установки датчиков;

β_i – внутренние углы произвольного многоугольника (см. Рисунок 4).

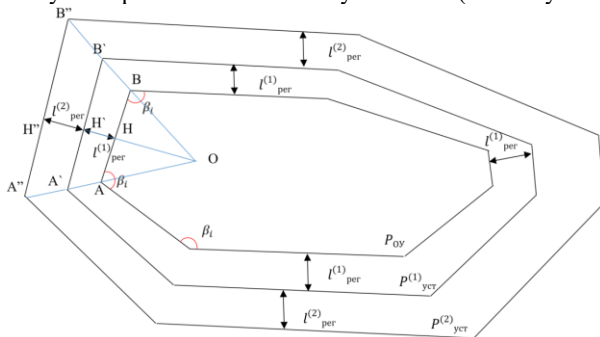


Рисунок 4 – Построение линий мест установки ТХД вокруг НТУ в форме произвольного многоугольника

Модель оценки регламентного количества ТХД, устанавливаемых вокруг НТУ в форме замкнутой кривой произвольной формы (Рисунок 5):

- для малого периметра:

$$N^{(\text{общ})}_{\text{мал}} = 1/20 (2 P_{\text{Oy}} + 4\pi l_{\text{пер}}^{(1)} + 2\pi l_{\text{пер}}^{(2)}); \quad (8)$$

- для большого периметра:

$$N^{(\text{общ})}_{\text{бол}} = 1/20 (3P_{\text{Oy}} + 6\pi l_{\text{пер}}^{(1)} + 6\pi l_{\text{пер}}^{(2)}). \quad (9)$$

Модель оценки планового времени ТО основана на данных о среднем сроке службы ТХД и интервалах между поверками и калибровками. На примере газосигнализатора СТМ-10 в модели учитывается коэффициент преобразования по объемной доле концентрации государственных стандартных образцов поверочных газовых смесей, вносящий поправку в срок эксплуатации ЧЭ. Количество оставшихся до замены ТХД мероприятий по ТО определяется количеством установленных вокруг НТУ датчиков и числом калибровок в течение одного межповерочного интервала, которое, в свою очередь, зависит от изменения коэффициентов преобразования, выраженного через функцию зависимости от агрессивности среды эксплуатации:

$$n_{\text{мкал}_{\text{ост}}} = \left[\frac{\left(1 - \sum_{i=1}^{n_{\text{тек}}} \Delta k_{\text{пр}i} \right)}{2 \Delta k_{\text{пр}}} \right], \quad (10)$$

где $n_{\text{мкал}_{\text{ост}}}$ – число оставшихся мероприятий по ТО;

$n_{\text{тек}}$ – номер текущего мероприятия по калибровке;

$\Delta k_{\text{пр}} = f_{\text{cp}}(\theta_{\text{чэ}})$;

$f_{\text{cp}}(\theta_{\text{чэ}})$ – зависимость $\Delta k_{\text{пр}}$ от агрессивности среды эксплуатации;

$\theta_{\text{чэ}}$ – состояние внутренней части (каталитического реагента) ЧЭ.

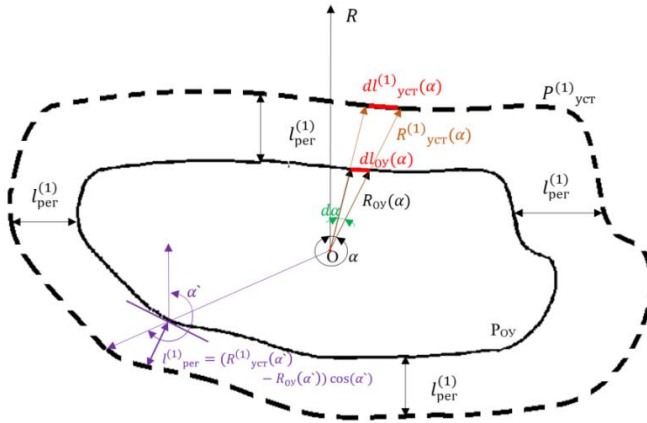
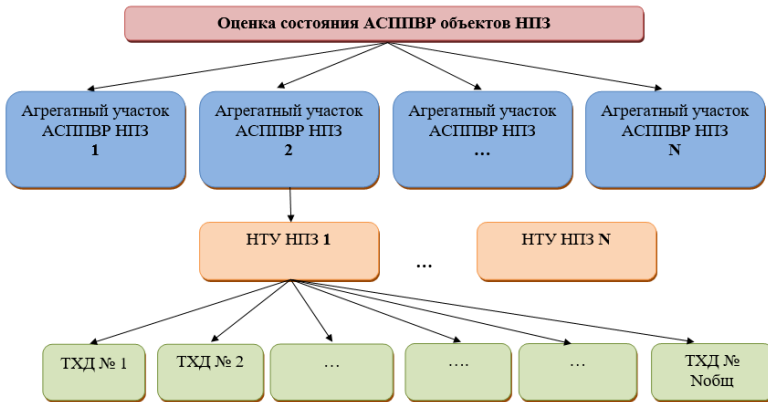


Рисунок 5 – Геометрические построения для определения длины первой линии мест установки ТХД вокруг НТУ произвольной формы

От $n_{\text{мккал}_{\text{ост}}}$ зависит время работы бригады с конкретным ТХД. Умножая его значение на полученное выше число датчиков получаем число мероприятий для НТУ.

Одной из целей задачи (4) является определение уровня нормированной надежности АСППВР $Q_{\text{норм}}$. Для этого, принимая во внимание общее число мероприятий, можно задать агрегированную цель (Рисунок 6), достижение которой будет соответствовать количественному значению агрегатного показателя качества $Q_{\text{норм}}$.



Критерий уровня готовности оборудования АСППВР

Рисунок 6 – Формирование агрегатной цели для критерия уровня нормированной надежности АСППВР

Для оценки общего времени диагностики и ТО ($T_{\text{пер}}^{\text{ТО}}$) предложен новый алгоритм расчета регламентированного времени диагностирования газосигнализаторов и количественного состава бригады для его проведения в установленный срок (Рисунок 7).

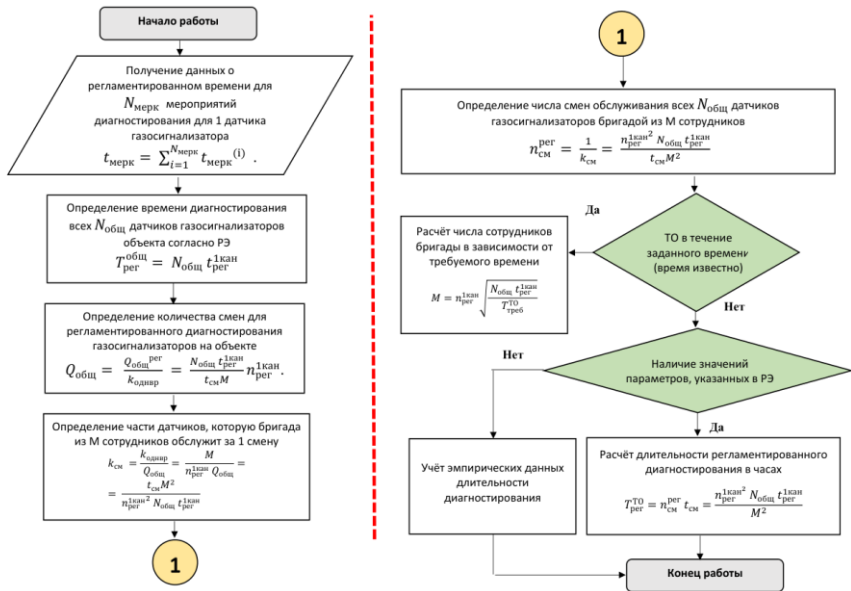


Рисунок 7 – Блок-схема алгоритма расчета регламентированного времени диагностирования газоанализаторов и количественного состава бригады для его проведения в установленный срок: $n_{\text{рег}}^{\text{1кан}}$ – количество человек, участвующих в процедуре калибровки на один канал (датчик) согласно РЭ; $t_{\text{рег}}^{\text{1кан}}$ – время калибровки одного датчика (канала) согласно РЭ; $N_{\text{общ}}$ – число установленных на объекте датчиков по ТУ-газ-86; M – количество людей в ремонтной бригаде; $T_{\text{треб}}^{\text{ТО}}$ – требуемое время проведения ТО.

Алгоритм основан на векторе времен, необходимых бригаде для комплекса мероприятий по диагностированию:

$$t_{\text{мерк}}^{\text{общ}} = \{t_{\text{мерк}}^{(1)}, t_{\text{мерк}}^{(2)}, \dots, t_{\text{мерк}}^{(N_{\text{мерк}})}\}, \quad (11)$$

где $t_{\text{мерк}}^{(i)}$ – i -я составляющая комплекса мероприятий по калибровке;

$N_{\text{мерк}}$ – количество составляющих мероприятий по диагностированию для одного ТХД.

Алгоритм позволяет рассчитывать $T_{\text{рег}}^{\text{ТО}}$ в зависимости от параметров ТО, указанных в эксплуатационной документации на конкретный вид ТХД (F_{1i}), а также количественный состав бригады ТО для его проведения в заданный срок (F_{3i}).

Для построения модели оценки готовности газоанализаторов следует помнить, что обеспечение ПБ на объектах нефтепереработки, характеризуется случайными климатическими и погодными изменениями. Поэтому можно считать, что в ней есть два встречных подпроцесса – разрушительный и созидательный. События, связанные с проведением диагностирования ЧЭ в ТХД, составляют суть восстановительного подпроцесса. События разрушительного подпроцесса связаны с отклонениями показателей ТХД от нормированных значений, которые можно описать марковским процессом. ТХД в модели имеют два состояния: готов или не готов.

Данная модель строится с учётом полученного в модели оценки планового времени ТО расчёта числа ТХД, потенциально готовых к использованию в

соответствии с нормативно-технической документацией. Отношение данного значения к рассчитанному выше общему числу устанавливаемых датчиков с учетом случайности событий, которые выводят ТХД из состояния готовности, также необходимо в качестве параметра для получения более высокого значения $Q_{\text{норм}}$. Найти решение данной задачи в общем виде достаточно сложно. Но частный случай (Рисунок 8), на примере которого проиллюстрирована схема построения марковской модели, позволяет в дальнейшем сделать необходимые обобщения.

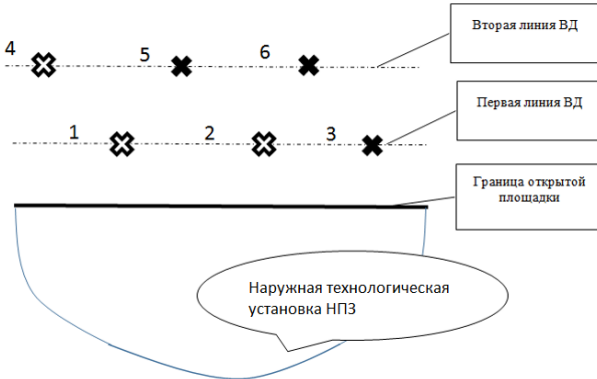


Рисунок 8 – Примерное расположение ТХД

Для указанных (Рисунок 8) расположения и состояний ТХД, рассчитанное возможное число состояний их совокупности (неисправны датчики с номерами {1, 2, 4}) можно записать в виде множества:

$$S_{124} = \{S_{[124]}, S_{[142]}, S_{[214]}, S_{[241]}, S_{[412]}, S_{[421]}\}. \quad (12)$$

Если неважно, какие именно датчики перешли в состояние «не готов», а важно только количество таких датчиков, то число состояний определится новой формулой:

$$C_{N_{\text{общ}}}^{n_{\text{негот}}} = \frac{N_{\text{общ}}!}{n_{\text{негот}}!(N_{\text{общ}} - n_{\text{негот}})!}. \quad (13)$$

Общее число состояний совокупности ТХД $S_{\text{общ}}^{(2)}$ будет рассчитываться как

$$S_{\text{общ}}^{(2)} = \sum_{i=0}^{n_{\text{негот}}} C_{N_{\text{общ}}}^i = \sum_{i=0}^{n_{\text{негот}}} \frac{N_{\text{общ}}!}{i!(N_{\text{общ}} - i)!}. \quad (14)$$

Общий характер динамики изменения состояний не только самих ТХД, но и всей их совокупности, можно задать, как функцию групп параметров. Приняв, что поток перехода каждого i -го датчика в состояние «не готов» ε_i есть функция ряда групп некоторых параметров, можно записать

$$\varepsilon_i = \{\varepsilon_{1i}, \varepsilon_{2i}, \varepsilon_{3i}, \varepsilon_{4i}\}, \quad (15)$$

где i – номер датчика;

ε_{1i} – специфические параметры данной модели ТХД (см. F_{1i});

ε_{2i} – параметры климата и топологии открытой площадки НПЗ (см. F_{2i});

ε_{3i} – параметры, связанные с ограничениями на работу персонала (см. F_{3i});

ε_{4i} – прочие параметры (см. F_{4i}).

Моделирование переходов между группами состояний совокупности ТХД в разрушительном подпроцессе можно выполнить с помощью графа (Рисунок 9). Интенсивность переходов между элементарными состояниями равна ϵ_i .

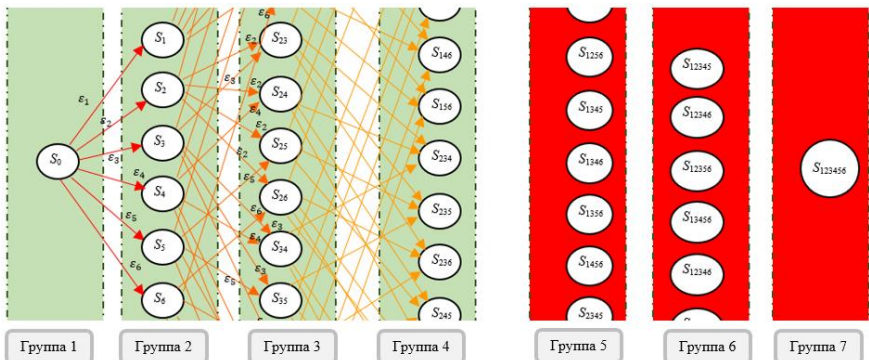


Рисунок 9 – Переходы совокупности ТХД между состояниями «готов» и «не готов»

Динамика перехода между группами состояний в совокупности ТХД в составе АСППВР для обеспечения ее уровня нормативной надежности в пределах от 50 до 100 % определяется предлагаемой системой дифференциальных уравнений Колмогорова. Выполненный расчет, может быть обобщен на необходимое количество ТХД.

Третья глава содержит предложения по изменениям в дисциплине ТО и контролю применения газосигнализаторов в АСППВР на объектах НПЗ.

С учетом использования разработанных моделей рассчитано минимальное количество датчиков для НТУ различной формы. Это предоставило возможность уточнить минимальное число проводимых мероприятий по ТО на объекте НПЗ. Кроме того, важно учитывать длины периметров всех НТУ на объекте. Оценки периметров НТУ оценены на основе статистических данных из открытых источников для различных объектов НПЗ.

Учитывая сложность формирования граничных условий не только для всей номенклатуры датчиков, но и в частности для конкретной модели ТХД, уместно рассмотреть решение задачи (4) на частном примере. Из большого количества моделей и марок газосигнализаторов был выбран прибор термохимического принципа действия – СТМ-10. Для данной его базовой модели определены примерный состав мероприятий по ТО и временные характеристики процесса ТО. Полученные данные показали не только то, что теоретически рассчитываемые значения завышены по сравнению с результатами статистических наблюдений на объектах НПЗ. Но также и то, что общее число учитываемых параметров для одного ТХД составляет 299 или 431 в зависимости от значений ограничивающих их интервалов измерений, которые будут определяться статистически.

Соответственно для одной НТУ полученное число параметров следует умножить на рассчитанное выше число датчиков по её периметру. При наличии на объекте НПЗ N НТУ это число увеличится в N раз.

Проведённый анализ используемых типов нейронных сетей показал, что для моделирования процессов ТО целесообразно использовать СНС. Целевым её параметром выбрано прогнозное значение количества неготовых ТХД. Для создания СНС необходимо сформировать ее архитектуру, входные и выходные данные и функцию потерь, задающую уровень качества работы СНС.

Вариант архитектуры СНС показан на рисунке 10. Входные признаки нейронной сети для объекта «термохимический датчик» сгруппированы в соответствии с полученными ранее группами специфических параметров стационарных термохимических газосигнализаторов (см. (2)). Формат информации во входном наборе представлен в виде*

$$\{d_1, d_2, d_3, N_{\text{общ}}\}, \quad (16)$$

где d_1 – набор признаков на основе специфических параметров данной модели ЧЭ стационарного термохимического газосигнализатора;

d_2 – набор признаков на основе климатических параметров и топологии местности, в которой находится объект;

d_3 – набор признаков на основе параметров работы персонала;

$N_{\text{общ}}$ – число датчиков, установленных вокруг НТУ.

Число признаков в выстраиваемой нейронной сети для одного ТХД аналогично числу параметров для одного ТХД: 299/431. Соответственно для одной НТУ их число умножается на $N_{\text{общ}}$. И для нескольких установок ($N_{\text{НТУ}}$) число признаков СНС также увеличивают в $N_{\text{НТУ}}$ раз.



Рисунок 10 – Вариант архитектуры нейронной сети для моделирования ТО газосигнализаторов

Основной задачей СНС является прогнозирование времени проведения мероприятий по ТО (поверки, калибровки) с учетом текущего влияния признаков (см. (16)). На основе полученных с её помощью выходных данных формируется решение ЛПР на проведение управляющего воздействия на объект управления – систему датчиков в составе АСППВР. Оно основывается на выборе из множества всего множества ТХД конкретного оборудования, предназначенного к ТО, ремонту или замене.

С этой целью разработан новый алгоритм управления диагностическими мероприятиями для подтверждения готовности газосигнализаторов в АСППВР на НТУ НПЗ, учитывающий применение СНС для прогнозирования числа неготовых к функционированию датчиков газосигнализаторов и, как следствие, рекомендуемого времени их обслуживания (Рисунок 11). Внедрение разработанного алгоритма в АСППВР для объектов НПЗ позволит ЛПР дежурной смены получать оперативную информацию как по каждому прибору и срокам его ТО, так и в целом по объекту НПЗ.

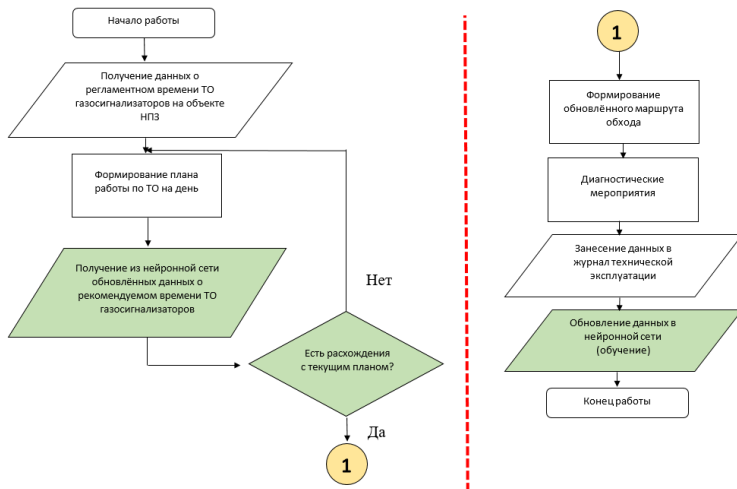


Рисунок 11 – Алгоритм планирования мероприятий по ТО с применением нейронной сети

Создание модели СНС, ее обучение и тестирование, настройку параметров, оценку допустимой погрешности предполагается проводить в экспериментальном режиме после формирования массива обучающей выборки. Для этого необходимы данные с различных НПЗ по перечисленным выше наборам признаков, а также информация, получаемая из журналов регистрации работ по ТО и ремонтам.

Формирование прогнозов по получаемым неизвестным значениям должно выполняться в течение некоторого времени уже после обучения СНС. В этом режиме она будет использоваться операторами или ЛПР дежурной смены объекта НПЗ для формирования управляющих воздействий на вспомогательный технологический процесс в АСППВР.

В четвертой главе описана практическая реализация разработанных моделей и алгоритмов в виде расчетных программ и аналитических оценок.

Представлены порядок и логика заполнения пользователем входных данных в соответствии с интерфейсом программ для вычисления регламентированного числа установленных газоанализаторов в пожаровзрывоопасных зонах НТУ на объектах нефтегазового комплекса в форме произвольного многоугольника, произвольной и прямоугольной формы, а также программы оценки готовности, регламентированного времени работы, численности работников при ТО газосигнализаторов, которая может быть внедрена в информационную подсистему АСППВР (Рисунок 12).

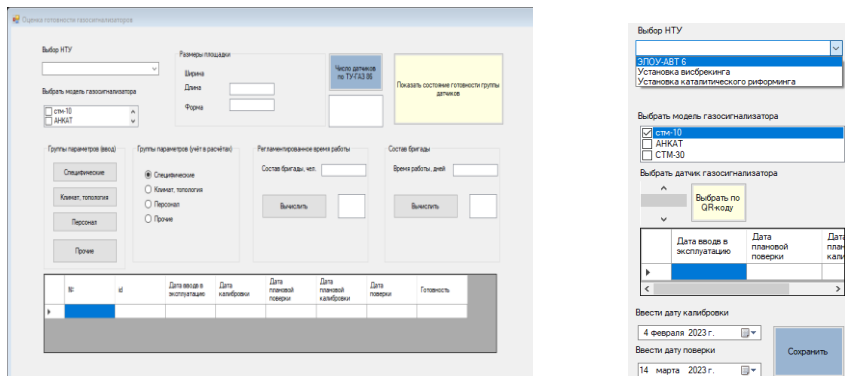


Рисунок 12 – Интерфейс программы оценки готовности, регламентированного времени работы, численности работников при ТО газосигнализаторов

Проведено моделирование регламентированного числа датчиков и состава бригад по проведению их ТО на реальном объекте ТЭК. Установлено, что применение разработанных программ позволяет более точно рассчитывать требуемое согласно ТУ-газ-86 число датчиков и численность персонала, необходимого для их обслуживания, что в свою очередь поможет провести сравнение с фактическим количеством установленных на объекте датчиков.

Учитывая, что для работы СНС с более, чем 100 признаками требуются не только значительные вычислительные мощности, но и продолжительное время, тестирование её работы для оценки готовности газосигнализаторов, которое показало корректные результаты (метрика качества модели – 89 %), было проведено для 10 отобранных признаков, таких как диапазон атмосферного давления, диапазон влажности воздуха, содержание пыли в воздухе, содержание вредных веществ (сера, сероводород, мышьяк) и др. Минимальные и максимальные значения признаков определены согласно руководству по эксплуатации СМ-10 и установленным стандартами безопасности труда. Для построения СНС был сформирован массив исходных данных с помощью новой разработанной программы генерации синтетического набора данных, включающий набор из случайных значений признаков. Описан алгоритм работы данной программы, а также последовательность действий при формировании модели СНС.

Дальнейшее обучение СНС с увеличенным количеством признаков позволит более точно определять класс готовности датчиков газоанализаторов (0 – полная готовность, 9 – полная неготовность) в зависимости от различных групп параметров, что в свою очередь способно определить скорость и тип реакции ЛПП для формирования управляющего воздействия: наблюдение, несрочная корректировка плана, срочная корректировка плана.

В приложении представлены акты о внедрении результатов исследования в практическую деятельность, свидетельства о Государственной регистрации программы для ЭВМ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

Таким образом, в диссертационной работе решена важная для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности научно-техническая проблема, что позволяет снизить величину пожарного риска при течении потенциально опасных технологических процессов на объектах НПЗ за счет

модификации информационной подсистемы АСППВР. Соискателем получены следующие основные научные результаты:

1. Обоснован выбор приборов первого уровня информирования АСУТП по классификации в соответствии с физическими методами анализа и по конструктивному исполнению. Отмечена актуальность проблем, связанных с применением на НТУ НПЗ газосигнализаторов данного типа. Выделена связь возникновения потенциально опасных ситуаций на данных объектах и возможность их фиксирования с целью предотвратить развитие с помощью газоаналитических систем, использующих термохимические газосигнализаторы. Выполнен анализ статистики возникновения опасных ситуаций на объектах НПЗ, их причин, видов и характеристик, что позволило обосновать выбор НТУ в качестве контролируемой зоны для предупреждения опасных ситуаций. Предложена концепция базовой линии процесса ТО газосигнализаторов, устанавливаемых вокруг НТУ НПЗ, заключающаяся в представлении дисциплины ТО в качестве целевой функции групп параметров.

2. Проведено моделирование для оценки минимально необходимого числа датчиков, устанавливаемых вокруг НТУ НПЗ в соответствии с действующими нормативными актами, для трех вариантов форм НТУ: прямоугольной, произвольного многоугольника и кривой произвольной формы. Полученные формулы позволяют автоматически рассчитывать нормативно установленное количество датчиков газосигнализаторов в зависимости от известной длины периметра НТУ. Предложено описание модели оценки количества необходимых мероприятий по диагностированию, учитывающей изменения коэффициентов преобразования, выраженные через функцию зависимости от агрессивности среды эксплуатации.

3. Разработан алгоритм расчета регламентированного времени диагностирования газосигнализаторов и количественного состава бригады для его проведения в установленный срок. Алгоритм позволит определить регламентное время проведения бригадами ТО калибровок датчиков газосигнализаторов на объектах НПЗ при известном числе установленных датчиков, длительности диагностирования одного датчика, количестве сотрудников в бригаде. При заданном ограничении по времени обслуживания с помощью алгоритма можно также рассчитать необходимое минимальное число инженеров-наладчиков для проведения данных работ в период, не превышающий плановый. Реализованный в составе программного модуля алгоритм позволяет вести расчет в автоматическом режиме.

4. Представлена модель оценки готовности газосигнализаторов к применению в АСППВР. Выполнен расчет динамики переходов состояний совокупности датчиков термохимических газосигнализаторов на объекте НПЗ с учетом проводимых диагностических мероприятий. Использование данной модели может дополнить информационную подсистему АСППВР. Значение показателя уровня готовности оборудования определяется отношением числа ТХД, потенциально готовых к использованию в соответствии с нормативно-технической документацией, к их общему числу с учетом случайности событий, выводящих ТХД из состояния готовности при разрушительном подпроцессе обеспечения ПБ.

5. Разработан алгоритм планирования диагностических мероприятий для подтверждения готовности газосигнализаторов в АСППВР на НТУ НПЗ, учитывающий рекомендации по времени ТО газосигнализаторов по итогам расчета выхода СНС. Для входной информации сети определены группы признаков исходя из специфических параметров модели ЧЭ стационарного термохимического

газосигнализатора, возможных климатических условий его эксплуатации и топологии местности, в которой находится НТУ НПЗ, а также характера работы с ним персонала. Внедрение алгоритма в АСППВР для объектов НПЗ позволит ЛПР дежурной смены всегда иметь оперативную информацию по каждому датчику и необходимым срокам его обслуживания. Предлагается проводить анализ данных на основе разработанной в работе архитектуры СНС. Обучение и тестирование модели, настройку в ней параметров, оценку допустимой погрешности можно провести после настройки СНС с использованием большого объема входных данных.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных изданиях, рекомендованных ВАК

1. Строгонов, А.Ю. Методика оценки эффективности управления мероприятиями пожарной безопасности на объектах ТЭК в составе автоматизированной системы поддержки управления / Н.Г. Топольский, И.В. Самарин, А.Ю. Строгонов // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. – 2018. – Т. 27, № 12. – С. 19–26. – DOI: 10.18322/PVB.2018.27.12.19-26
2. Строгонов, А.Ю. Модель оценки обеспечения комплексной безопасности в АСУТП с применением диагностики пожарных извещателей для построения автоматизированной системы поддержки управления пожаровзрывобезопасностью / Н.Г. Топольский, И.В. Самарин, А.Ю. Строгонов // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. – 2018. – Т. 27, № 11. – С. 15–22. – DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.15-22
3. Strogonov, A.Yu. Evaluation Model of integrated safety of fuel and energy complex facilities / I.V. Samarina, A.Yu. Strogonov, S.Yu. Butuzov // *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. – 2019. – Vol. 8, No. 5. – P. 2162–2167.
4. Строгонов, А.Ю. Методика прогнозирования готовности единиц противопожарного оборудования АСУТП на предприятиях ТЭК / Ю.В. Прус, А.В. Крючков, И.В. Самарин, А.Ю. Строгонов // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. – 2019. – № 3/2. – С. 96–103.
5. Строгонов, А.Ю. Модель оценки влияния мероприятий пожарной безопасности на агрегатную цель для цифровых двойников объектов ТЭК / Н.Г. Топольский, И.В. Самарин, А.Ю. Строгонов, Кйеу Туан Ань // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. – 2019. – Т. 28, № 3. – С. 50–58. – DOI: 10.18322/2019.28.03.50-58
6. Строгонов, А.Ю. Методика оценки ущерба предприятию ТЭК с учетом полученной с помощью стратегического планирования группы компенсирующих негативные последствия мероприятий при функционировании автоматизированной системы пожаровзрывобезопасности / И.В. Самарин, А.Ю. Строгонов // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. – 2019. – № 3/2. – С. 129–135.
7. Строгонов, А.Ю. Методика оценки готовности к работе оборудования АСПВБ первого уровня информирования на объектах ТЭК в особых условиях / Н.Г. Топольский, И.В. Самарин, А.Ю. Строгонов // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. – 2019. – Т. 28, № 1. – С. 35–46. – DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.35-46
8. Строгонов, А.Ю. Модель оценки эффективности приведения в готовность оборудования автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности / С.Ю. Бутузov, И.В. Самарин, А.Ю. Строгонов // *Технологии техносферной безопасности*. – 2019. – № 1(83). – С. 113–125. – DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.113-125
9. Строгонов, А.Ю. Расчет регламентированного числа мероприятий калибровки для термомеханических датчиков, установленных вокруг открытых установок НПЗ / И.В. Самарин, А.В. Крючков, А.Ю. Строгонов // *Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина*. – 2020. – № 4(301). – С. 129–140. – DOI: 10.33285/2073-9028-2020-4(301)-129-140
10. Строгонов, А.Ю. Расчет времени и состава бригады для мероприятий калибровки термомеханических датчиков на открытых установках НПЗ / И.В. Самарин, А.В. Крючков, А.Ю. Строгонов // *Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности*. – 2020. – № 12(569). – С. 38–43. – DOI: 10.33285/0132-2222-2020-12(569)-38-43

11. Строгонов, А.Ю. Модель оценки готовности термохимических газосигнализаторов / И.В. Самарин, А.В. Крючков, А.Ю. Строгонов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. – 2020. – Т. 29, № 6. – С. 61–74. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.06.61-74

12. Strogonov A. Substantiation of application of the strategic planning methods in order to improve efficiency of the automated systems of fire and explosion protection at the fuel and energy complex facilities in the special conditions / I. Samarina, S. Grinyayev, A. Strogonov et al. // Journal of Applied Engineering Science. – 2021. – Vol. 19, No. 3. – P. 667–675. – DOI: 10.5937/jaes0-30258

13. Строгонов, А.Ю. Подход к моделированию технического обслуживания стационарных термохимических газосигнализаторов на установках НПЗ / И.В. Самарин, А.В. Крючков, А.Ю. Строгонов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. – 2022. – Т. 31, № 1. – С. 40–48. – DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.01.40-48

14. Строгонов, А.Ю. Расчет регламентированного количества выносных датчиков газосигнализаторов вокруг открытых установок нефтеперерабатывающих заводов прямоугольной формы / И.В. Самарин, А.В. Крючков, А.Ю. Строгонов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. – 2022. – Т. 31, № 2. – С. 33–40. – DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.02.33-40

15. Strogonov, A.Yu. Creation of principles for the implementation of operating systems for high-precision fire equipment / I.V. Samarina, A.V. Kruchkov, A.Yu. Strogonov // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2021. – Vol. 9, No. 4. – P. 589–604. – DOI: 10.21533/pen.v9i4.2388

16. Строгонов, А.Ю. Алгоритм диагностирования газосигнализаторов в автоматизированных системах предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов / А.Ю. Строгонов // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2023. – № 7(600). – С. 5–12. – DOI: 10.33285/2782-604X-2023-7(600)-5-12

17. Строгонов, А.Ю. Модель прогнозирования класса готовности датчиков термохимического газосигнализатора для предотвращения пожаров и взрывов / И.В. Самарин, А.Ю. Строгонов, А.В. Крючков // Пожаровзрывобезопасность. – 2024. – Т. 33, № 5. – С. 87–98. – DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.05.87-98. – EDN CMPTAM.

18. Строгонов, А.Ю. Диагностирование газосигнализаторов в автоматизированной системе предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов / А.Ю. Строгонов // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2025. – № 7(624). – С. 32–38. – EDN KRWAWZ.

Свидетельства Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ

1. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021614565. Программа для оценки восстановления и готовности оборудования нижнего уровня автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности / А.Ю. Строгонов. – № 2021613810; заявл. 26.03.2021; опубл. 26.03.2021, Бюл. № 4.

2. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021664856. Программа расчета регламентного числа установленных газоанализаторов в пожаровзрывоопасных зонах открытых площадок на объектах нефтегазового комплекса в форме произвольного многоугольника / А.В. Крючков, И.В. Самарин, А.Ю. Строгонов. – № 2021664218; заявл. 14.09.2021; опубл. 14.09.2021, Бюл. № 9.

3. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021665311. Программа расчета регламентного числа установленных газоанализаторов в пожаровзрывоопасных зонах открытых площадок произвольной формы на объектах нефтегазового комплекса / А.В. Крючков, И.В. Самарин, А.Ю. Строгонов. – № 2021664657; заявл. 23.09.2021; опубл. 23.09.2021, Бюл. № 10.

4. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021666189. Программа расчета регламентного числа установленных газоанализаторов в пожаровзрывоопасных зонах открытых площадок прямоугольной формы на объектах нефтегазового комплекса / А.В. Крючков, И.В. Самарин, А.Ю. Строгонов. – № 2021665565; заявл. 08.10.2021; опубл. 09.10.2021, Бюл. № 10.

5. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023665958. Программа для оценки готовности, регламентированного времени работы, численности работников при техническом обслуживании газосигнализаторов / А.Ю. Строгонов. – № 2023665301; заявл. 25.07.2023; опубл. 25.07.2023, Бюл. № 8.

6. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024684138. Программа для прогнозирования класса готовности датчиков газосигнализатора

типа СТМ-10 с помощью свёрточной нейронной сети / А.Ю. Строгонов, А.В. Крючков. – № 2024683596; заявл. 15.10.2024 : опубл. 15.10.2024, Бюл. № 10.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024684137. Программа генерации синтетического набора данных для решения с помощью свёрточной нейронной сети задачи классификации состояний выносных датчиков газосигнализаторов на объектах топливно-энергетического комплекса по данным газосигнализаторов СТМ-10 / А. Ю. Строгонов, А. В. Крючков. – № 2024683595; заявл. 15.10.2024 : опубл. 15.10.2024, Бюл. № 10.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025665287. Программа для расчёта регламентированного времени диагностирования термохимических датчиков газосигнализаторов и численного состава сервисной бригады / А. Ю. Строгонов. – № 2025664322; заявл. 14.06.2025 : опубл. 14.06.2025, Бюл. № 6.

Публикации в других изданиях

1. Строгонов, А.Ю. Пример применения АСУ стратегического планирования на крупном предприятии для повышения эффективности управления им / А.Ю. Строгонов, И.В. Самарин // XII Научно-техническая конференция «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России»: сборник тезисов. – Москва : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2018. – С. 400.

2. Строгонов, А.Ю. К вопросу выбора эффективной ERP-системы для управления предприятием / А.Ю. Строгонов, И.В. Самарин // XII Всероссийская конференция молодых ученых, специалистов и студентов : сборник тезисов. – Москва : ПАО «Газпром», РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2017. – С. 293.

3. Строгонов, А.Ю. Решение задачи автоматизации формирования бюджетного плана для повышения эффективности управления крупным предприятием / А.Ю. Строгонов, И.В. Самарин // 72-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2018» : тезисы докладов. – Москва : Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018. – Т. 3. – С. 46.

4. Строгонов, А.Ю. Модель оценки пожарной безопасности на газоперерабатывающем заводе в составе автоматизированной системы поддержки управления / А.Ю. Строгонов // 73-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2019» : тезисы докладов. – Москва : Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2019. – Т. 5. – С. 484–485.

5. Строгонов, А.Ю. Особенности мониторинга пожарной безопасности на примере газоперерабатывающего завода / А.Ю. Строгонов // XIII Всероссийская конференция молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности (газ, нефть, энергетика)» : тезисы докладов. – Москва : ПАО «Газпром», РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2019. – С. 424–425.

6. Строгонов, А.Ю. Методы, модели и алгоритмы автоматизации организационного управления пожаровзрывобезопасностью объектов топливно-энергетического комплекса / А.Ю. Строгонов, И.В. Самарин // IX Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2020» : материалы конференции. – Москва : Академия ГПС МЧС России, 2020. – С. 93–98.

7. Строгонов, А.Ю. Модель оценки готовности термохимических газоанализаторов / А.Ю. Строгонов // 74-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2020» : тезисы докладов. – Москва : Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2020. – Т. 4. – С. 364–365.

8. Строгонов, А.Ю. Оценка регламентированного времени проведения технического обслуживания датчиков газоанализаторов на открытых установках НПЗ / А.Ю. Строгонов // 75-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2021» : тезисы докладов. – Москва : Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2021. – Т. 3. – С. 534–535.

9. Строгонов, А.Ю. Моделирование готовности газосигнализаторов в автоматизированных системах предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов / А.Ю. Строгонов // XIV Всероссийская конференция молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности: газ, нефть, энергетика» : тезисы докладов. – Москва : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2022. – С. 426–427.

10. Строгонов, А.Ю. Автоматизация управления готовностью газосигнализаторов в системах предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов / А.Ю. Строгонов // XII Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной

безопасности – 2023» : материалы конференции. – Москва : Академия ГПС МЧС России, 2023. – С. 147–153.

11. Строгонов, А.Ю. Управление готовностью газосигнализаторов в автоматизированных системах предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов / А.Ю. Строгонов, И.В. Самарин // VII Региональная научно-техническая конференция, посвященная 100-летию В.Л. Березина «Губкинский университет в решении вопросов нефтегазовой отрасли России» : тезисы докладов. – Москва : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2023. – С. 520. – 7,65 Мб – Электрон. дан. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

12. Строгонов, А.Ю. Моделирование готовности, регламентированного времени работы, численности работников при диагностировании газосигнализаторов в автоматизированных системах предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов / А.Ю. Строгонов // XV Всероссийская конференция молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности: газ, нефть, энергетика» : тезисы докладов. – Москва : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2023. – С. 331–332.

13. Строгонов, А. Ю. Алгоритм расчёта регламентированного времени диагностирования газосигнализаторов и количественного состава бригады для его проведения в установленный срок / А. Ю. Строгонов // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. – 2024. – № 13. – С. 167-173. – EDN MNMOQN.

Подписано в печать 25.01.2026 г. Формат 60×90 1/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз.
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.
119991, Москва, Ленинский проспект, д. 65, корп. 1