

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Российского государственного
университета нефти и газа
(национальный исследовательский
университет) имени И.М. Губкина
кандидат технических наук, доцент



П.К. Калашников

«31» октября 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)

Диссертация «Модели и алгоритмы диагностирования газосигнализаторов в автоматизированных системах предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов» выполнена на кафедре автоматизации технологических процессов РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.

В период подготовки диссертации соискатель Строгонов Андрей Юрьевич являлся аспирантом очной формы обучения РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, в настоящее время работает в должности старшего преподавателя кафедры автоматизации технологических процессов РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.

В 2015 году окончил РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина по специальности «Прикладная математика» с присвоением квалификации «Инженер-математик».

Программу подготовки научно-педагогических кадров освоил в 2021 году с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь». Диплом об окончании аспирантуры 107704 0183020 от 26.10.2021 выдан в федеральном государственном автономном

образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина».

Справка об обучении, включающая сведения о сдаче кандидатских экзаменов, № СП-948-126203 выдана 12.01.2024 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, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, кафедра автоматизации технологических процессов, заведующий кафедрой.

По результатам рассмотрения диссертации Строгонова А.Ю. «Модели и алгоритмы диагностирования газосигнализаторов в автоматизированных системах предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов» принято следующее.

Общая оценка работы

Кандидатская диссертация Строгонова Андрея Юрьевича представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи по разработке моделей и алгоритмов диагностирования газосигнализаторов в автоматизированных системах предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов, что вносит значительный вклад в теоретические основы управления диагностическими мероприятиями для подтверждения готовности оборудования нижнего уровня информирования в автоматизированных системах управления технологическими процессами.

Объём диссертации составляет 222 страницы машинописного текста. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемых сокращений, списка литературы из 175 наименований и 2 приложений на 19 листах.

Актуальность исследования

Составной частью отечественной промышленности являются объекты топливно-энергетического комплекса, состояние пожарной безопасности 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 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года». 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 энергетической отрасли является нефтеперерабатывающий завод, 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. При этом важно непрерывно обеспечивать сохранность находящихся на данных объектах материальных средств и совершенствовать методы предотвращения опасных ситуаций на протяжении всего технологического цикла на предприятии.

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 предпожарных и взрывоопасных режимов. 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, что не всегда учитывает реальный расход технического ресурса. Таким образом, в определенный момент времени на участке наружной технологической установки допустимый пожарный риск может быть превышен вследствие недостоверности мониторинга фактического нижнего концентрационного предела распространения пламени из-за необратимого снижения чувствительности термохимических датчиков, обусловленного, в свою очередь, физическим износом, воздействием окружающей среды, отравлением (деактивацией) катализатора

чувствительных элементов датчика при химическом взаимодействии с инертными газами, а также с кремнийорганическими, 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.

Таким образом, актуальность исследования определяется необходимостью описания нового подхода к планированию сроков выполнения работ по диагностированию датчиков газосигнализаторов, установленных вокруг наружных технологических установок, в зависимости от скорости расходования технического ресурса. Данный подход заключается в разработке моделей и алгоритмов диагностирования газосигнализаторов в целях улучшения качества принятия решений по обеспечению пожарной безопасности на объектах нефтеперерабатывающих заводов.

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.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 технического обслуживания с учетом расходования технического ресурса. Мало упоминается и математически не формализовано влияние условий внешней среды, связанных с изменением климата, производственными выбросами, топологией. Опубликованы работы, анализирующие проблемы использования газовых пожарных извещателей, а не газосигнализаторов. Невелико количество работ,

посвященных применению термохимических газосигнализаторов, которые довольно часто устанавливаются на современных производственных объектах сегодня. Не в полной мере исследована проблема расхода ресурса датчика и ее связь с действующими подходами к техническому обслуживанию.

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 методы решения поставленных в исследовании задач. Расчеты, представленные в диссертации, получены автором лично на основе применения разработанных моделей и программ.

Результаты, полученные соискателем лично:

1. Проведен анализ значимости датчиков газосигнализаторов взрывоопасных концентраций в обеспечении пожарной безопасности на пожаровзрывоопасных объектах нефтеперерабатывающих заводов. Отмечена важность обеспечения пожарной безопасности на объектах топливно-энергетического комплекса, особенно при непрерывных технологических процессах на нефтеперерабатывающих заводах, с учетом химического состава и физических свойств нефти и нефтепродуктов. В качестве объекта исследования выбран процесс технического обслуживания стационарных термохимических газосигнализаторов и их датчиков и выявлена его зависимость от факторов окружающей среды, метеорологических условий и параметров технологического оборудования, что обуславливает важность корректировки сроков калибровки и поверки датчиков. Отмечена актуальность проблемы технического обслуживания по состоянию и разработки научных методов определения сроков выполнения работ по диагностированию элементов и устройств автоматизированных систем предотвращения предожарных и взрывоопасных режимов в зависимости от скорости расходования их технического ресурса.

2. Разработаны модели для оценки числа выносных датчиков, устанавливаемых вокруг наружных технологических установок разной формы (прямоугольной, произвольного многоугольника и произвольной) в соответствии с действующими нормативными актами, а также модель оценки числа мероприятий по их калибровке. При моделировании учтен средний срок службы термохимических датчиков, интервал между поверками и интервал между калибровками, а также расчет коэффициента преобразования по поверочной газовой смеси, который вносит важную поправку в срок эксплуатации чувствительного элемента.

3. Разработан алгоритм расчета регламентированного времени диагностирования газосигнализаторов и количественного состава бригады для его выполнения в установленный срок, позволяющий определить время проведения калибровочных процедур для датчиков газосигнализаторов, требуемое число специалистов для выполнения диагностических работ в плановый период. Последовательно определяется число смен для диагностирования, проводится учет одновременно обслуживаемых датчиков, числа датчиков за смену.

4. Разработана модель оценки готовности газосигнализаторов к применению в автоматизированных системах предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов, позволяющая оценить динамику переходов состояний совокупности датчиков термохимических газосигнализаторов, размещенных вокруг наружных технологических установок. Моделирование переходов между группами состояний совокупности датчиков в разрушительном и созидательном подпроцессах процесса обеспечения пожарной безопасности выполнено с помощью графов. В качестве одного из вариантов определения значения показателя уровня готовности оборудования выбран расчет отношения числа датчиков, потенциально готовых к использованию в соответствии с нормативно-технической документацией, к их общему числу с учетом случайности событий, которые выводят датчики из состояния готовности.

5. Разработан алгоритм управления диагностическими мероприятиями для подтверждения готовности газосигнализаторов на наружных технологических установках нефтеперерабатывающих заводов, учитывающий выводы о применении свёрточных нейронных сетей для прогнозирования числа неготовых к функционированию датчиков газосигнализаторов и, как следствие, рекомендуемого времени проведения мероприятий технического обслуживания.

6. Описан комплекс программ, позволяющих оценить готовность оборудования нижнего уровня автоматизированных систем управления технологическими процессами. Программная реализация моделей и алгоритмов дополняет процесс технического обслуживания автоматизированных систем предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов. Проведено построение и тестирование работы модели свёрточной нейронной сети, которое показало, что лицо, принимающее решение, может верно прогнозировать класс готовности датчиков газосигнализаторов с вероятностью 89%.

В рамках диссертационного исследования был выполнен комплекс теоретических и научно-технических работ, что позволило обеспечить достижение основной цели — повышение эффективности технического обслуживания автоматизированной системы предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов за счёт разработки новых моделей и алгоритмов диагностирования газосигнализаторов.

Научная новизна диссертации

В процессе выполнения диссертационной работы впервые были получены следующие научные результаты:

- комплекс математических моделей для способа оценки регламентированного времени мероприятий технического обслуживания газосигнализаторов. Модели позволяют последовательно определить число датчиков, установленных вокруг наружных технологических установок объекта переработки нефти, количество мероприятий по их обслуживанию в зависимости от условий внешней среды. На основе модели оценки

количества датчиков газосигнализаторов для различных типов наружных технологических установок рассчитаны периметры, что позволило оценить минимально возможное количество устанавливаемых вокруг них газосигнализаторов в соответствии с действующими нормативными документами. Модель для определения количества необходимых мероприятий обслуживания отражает связь данного числа с изменением коэффициентов преобразования, выраженным через функцию зависимости от состояния агрессивности среды;

- модель оценки готовности к применению газосигнализаторов в автоматизированных системах предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов. Для нее выполнен расчет динамики переходов состояний совокупности датчиков термохимических газосигнализаторов на объекте нефтеперерабатывающего завода с учетом проводимых диагностических мероприятий. Расчеты с использованием данной модели могут дополнить информационную подсистему автоматизированной системы предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов;

- алгоритм планирования диагностических мероприятий для подтверждения готовности газосигнализаторов к применению в автоматизированных системах предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов на наружных технологических установках нефтеперерабатывающего завода, учитывающий рекомендации по времени технического обслуживания газосигнализаторов по итогам расчета выхода свёрточной нейронной сети. Его внедрение позволит лицу, принимающему решение, дежурной смены всегда иметь оперативную информацию по каждому датчику и необходимым срокам его обслуживания. Предлагается проводить анализ данных на основе разработанной архитектуры свёрточной нейронной сети. Обучение и тестирование модели, настройку в ней параметров, оценку адекватности можно провести после настройки сети с использованием большого объема входных данных.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость полученных научных результатов заключается в развитии научных представлений об использовании функционирующих сегодня датчиков и газосигнализаторов в реальных

условиях обстановки на объектах нефтеперерабатывающих заводов с учетом накопленного опыта их эксплуатации.

Практическая значимость исследования определяется возможностью использования разработанных моделей и алгоритма в системах принятия решений при оценке реальной обстановки на объекте. Полученные результаты позволяют предоставлять более точную информацию о состоянии и готовности газосигнализаторов к применению с учетом предотвращения перехода их в предаварийные режимы, вызванные влиянием внешних факторов, что позволит оперативно принимать решения, направленные на приведение их в готовность.

Результаты внедрения

Результаты, представленные в диссертационной работе, использованы и внедрены:

- в целях увеличения объема услуг, оказываемых ООО «Центр мониторинга новых технологий» в области мониторинга, анализа и внедрения новых технологий, в виде комплекса рекомендаций при разработке и утверждении плановых графиков технического обслуживания газосигнализаторов, а также при мониторинге функционирования метеорологических комплексов на станциях контроля загрязнения воздуха;

- при обновлении одного из модулей корпоративной системы принятия решений при оценке ответственным лицом реальной обстановки на объектах нефтеперерабатывающего завода ООО «Первый Завод», которое заключается в появлении возможности передачи более точной информации оператору о состоянии и готовности газосигнализаторов к применению с учетом предотвращения перехода их в предаварийные режимы, вызванные влиянием внешних факторов;

- в качестве основы для расширения спектра деятельности компании ООО «Аверс» (оказывающей услуги в области инженерных изысканий, инженерно-технического проектирования, экспертизы промышленной безопасности) при внесении корректировок в годовой график проведения технического обслуживания и ремонта измерительных приборов для

определения предельно допустимых концентраций (ПДК) и дозрывных концентраций (ДВК), а также при внесении изменений в технологические карты отдельных моделей газосигнализаторов;

– при практическом применении разработанного программного модуля «Информационно-аналитическая система диагностирования газосигнализаторов» в деятельности компании ООО «СТД – Системы технической диагностики» в целях автоматизации и оптимизации процессов диагностики технического состояния объектов магистральных и распределительных газопроводов, а также повышения качества экспертизы промышленной безопасности;

– 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 (распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 октября 2024 года № 3026-р присуждена (в составе коллектива) премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники);

– при изучении дисциплин кафедры пожарной автоматики Академии ГПС МЧС России «Производственная и пожарная автоматика» и «Основы производственной и пожарной автоматики», дисциплины кафедры информационных технологий УНК АСИТ Академии ГПС МЧС России «Системы поддержки принятия решений»;

– для развития методологии проектирования автоматизированных информационных систем поддержки принятия управленческих решений в области предотвращения и ликвидации пожаров и ЧС, являющейся одним из направлений научно-технической деятельности кафедры информационных технологий УНК АСИТ Академии ГПС МЧС России;

– в учебной деятельности РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина при разработке рабочих программ дисциплин «Технические средства автоматизации и управления», «Технологические измерения и приборы» в виде

описания порядка расчета динамики переходов внутри совокупности термохимических датчиков с учетом теоретически описанной модели оценки готовности датчиков, а также в виде учебно-методических указаний к нескольким лабораторным работам.

Полнота опубликования основных научных результатов, полученных автором

Все основные научные результаты, полученные автором, достаточно полно опубликованы в научных журналах и материалах научных и научно-практических конференций. 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 программы для ЭВМ.

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 г.); 74-я 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.)

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности, по которой она рекомендована к защите

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки), а именно:

пункту 13. Методы планирования, оптимизации, отладки, сопровождения, модификации и эксплуатации функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСПП и др., включающие задачи управления качеством, финансами и персоналом;

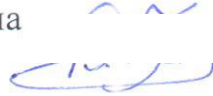
пункту 15. Теоретические основы, методы и алгоритмы диагностирования (определения работоспособности, поиск неисправностей и прогнозирования) АСУТП, АСУП, АСПП и др.

Диссертация «Модели и алгоритмы диагностирования газосигнализаторов в автоматизированных системах предотвращения предожарных и взрывоопасных режимов», выполненная Строгоновым Андреем Юрьевичем, рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

Заключение принято на заседании профессорско-преподавательского состава кафедры автоматизации технологических процессов РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.

Присутствовало на заседании 15 чел. Результаты голосования: «за» – 15 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет. Протокол №31-10-25/1 от 31 октября 2025 года.

Заместитель заведующего кафедрой
автоматизации технологических процессов
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
кандидат технических наук, доцент



Р.Л. Барашкин

«31» октября 2025 г.

