

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Генерального директора  
по стандартизации и метрологии

ООО «Газпром ВНИИГАЗ»



Д.М. Гоготишвили

«10» июня 2026 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)**

на диссертационную работу Мухиной Анастасии Геннадьевны на тему:  
«Модели и алгоритмы адаптивного автоматизированного управления пожаровзрывобезопасностью объектов производственно-технического обслуживания газодобывающего комплекса», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3.

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

#### 1. Актуальность темы диссертационного исследования

Актуальность диссертационной работы для научной теории и практики заключается в разработке комплексного подхода к реализации многоагентных компьютерных систем поддержки принятия решений для автоматизированного управления пожаровзрывобезопасностью (ПВБ) объектов производственно-технического обслуживания газодобывающего комплекса (ПТО ГДК). Влияние природной неопределенности и техногенных факторов на пожаровзрывобезопасное состояние опасных производственных объектов (ОПО) газовых промыслов (ГП) нефтегазоконденсатных месторождений (НГКМ) определяет необходимость разработки методов и моделей адаптивного управления и адаптивного прогнозирования показателей ПВБ объектов ПТО ГДК. Причастность основных сооружений установок комплексной подготовки газа (УКПГ), станций охлаждения газа (СОГ) и установок подготовки нестабильного конденсата (УПНК), расположенных на участках ГП, к ОПО категории А подтверждает актуальность разработки инновационных решений в

bx 5 6/87 от 15.06.2026

области адаптивного автоматизированного управления ПVB объектов ПТО ГДК, функционирующих в осложненных условиях производственной среды. Согласно своду правил «Требования пожарной безопасности для производственных объектов газовой промышленности», объекты ГДК с применением блочных и блочно-комплектных устройств в районах Крайнего Севера требуют непрерывного контроля пожаровзрывобезопасного состояния. Чувствительность объектов ПТО ГДК к внешним возмущениям и нарушению функционирования технических средств пожарной автоматики, а также затрудненный доступ к оборудованию опорных пунктов тушения крупных пожаров на объектах добычи и переработки газа подчеркивает необходимость формирования интеллектуальных адаптивных систем поддержки принятия решений по управлению ПVB объектов ПТО ГДК.

Для обеспечения рациональной разработки и эксплуатации нефтегазоконденсатных месторождений, в особенности для объектов, расположенных в условиях Арктического региона, необходим не только контроль соблюдения мер пожарной безопасности для подсистем ГДК, но и наблюдение за сменой состояния и выбора предпочтительных пожаровзрывобезопасных технологических режимов функционирования типовых объектов добычи и подготовки газа и стабилизации конденсата. Более того, для обеспечения штатных режимов работы технологических установок, основного и вспомогательного оборудования необходимо учитывать взаимодействие между основными группами объектов ПТО ГДК, а также взаимовлияние групп объектов ГДК, определяющее достижение плановых показателей добычи с учетом производственной безопасности ГП. Введение дополнительных технологических объектов в структуру технологических линий усложняет процессы управления и регулирования пожаробезопасного состояния ГП, что, в свою очередь, обосновывает необходимость рассмотрения сетевого взаимодействия между объектами и применения методов децентрализованного управления объектами и подсистемами газодобывающей промышленности.

В связи с вышеизложенным, разработка многоагентной сетевидрической системы поддержки принятия решений по адаптивному управлению пожаровзрывобезопасностью ОПО ПТО ГДК представляется перспективным направлением и определяет **актуальность** развития направления для повышения эффективности управления добычей энергоресурсов, адаптивной диагностики оборудования с соблюдением требований к обеспечению пожаровзрывобезопасных состояний объектов газодобывающей промышленности.

## **2. Цель, объект, предмет и задачи диссертации**

**Целью** диссертационной работы является совершенствование моделей и алгоритмов повышения эффективности тактического и оперативного управления ПТО ОПО ГДК, обеспечивающих пожаровзрывобезопасность функционирования ОПО ГДК. В качестве **объекта** исследования рассматривается автоматизация процессов управления производственно-техническим обслуживанием пожароопасных объектов газодобывающего комплекса, функционирующих в условиях неопределённости и рисков. **Предметом** исследования являются научные основы построения, математические модели, алгоритмы и технологии разработки программного обеспечения многоагентной адаптивной системы поддержки принятия решений для управления пожаровзрывобезопасностью ОПО ГДК.

Для достижения поставленной цели диссертангом поставлены и решены следующие научные задачи:

- выполнить анализ методов сетевидрического управления, адаптивного управления и агентного моделирования для осуществления тактического и оперативного управления пожаровзрывобезопасностью ОПО ГДК;
- разработать архитектуру, математические модели и алгоритмы расчётных модулей МАССПР по адаптивному управлению пожаровзрывобезопасностью ОПО ГДК с применением технологий многоагентного моделирования и принципов сетевидрического управления;

- разработать модели и алгоритмы многокритериального выбора и адаптивного прогнозирования показателей пожаровзрывобезопасности системы ОПО «пласт-скважина» (тактический уровень);
- для системы ОПО «УКПГ – СОГ – УПНК» разработать модели функционирования групп однородных (находящихся в одних и тех же состояниях) элементов для обеспечения адаптивного прогнозирования пожаровзрывобезопасности (тактический и оперативный уровень);
- для системы ОПО «УКПГ-СОГ-УПНК» разработать модели оптимизации рисков недополучения дохода при заданных затратах на обеспечение пожаровзрывобезопасных состояний объектов ПТО ГДК (тактический уровень);
- разработать модели оптимизации выбора технологии очистки и осушки газа в условиях низкотемпературных режимов подготовки газа с учетом соблюдения требований пожарной безопасности объектов ПТО ГДК.

### **3. Научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертации**

Анализ результатов диссертационного исследования и обоснование его **научной новизны** заключается в том, что автор достиг поставленной цели для повышения эффективности управления ПВБ объектов ПТО ГДК и представил новые научные результаты в части развития методов и моделей адаптивного автоматизированного управления пожаровзрывобезопасностью ОПО ПТО ГДК, в частности:

- модели и алгоритмы многокритериального выбора и адаптивного прогнозирования на тактическом уровне показателей ПВБ системы ОПО «пласт-скважина», отличающиеся модифицированной системой показателей пожаровзрывобезопасности; многокритериальным выбором моделей аппроксимации исходных данных с применением нечёткого логического вывода; многокритериальным выбором и применением модификаций

множественного ансамбля фильтра Калмана для адаптивного прогнозирования показателей пожаровзрывобезопасности;

- модели и алгоритмы для оценки на тактическом и оперативном уровне показателей пожаровзрывобезопасности системы ОПО «УКПГ», отличающиеся применением теории марковских случайных процессов в части динамики средних путем выделения однородных групп ОПО, блуждающих по одним и тем же состояниям и образующих взаимодействующие марковские случайные процессы;

- модели и алгоритмы многокритериальной оптимизации рисков недополучения дохода при заданных затратах на обеспечение пожаровзрывобезопасных состояний объектов ПТО ГДК, отличающиеся тем, что часть уравнений Колмогорова в стационарном режиме, записанных относительно средних численностей состояний, лицо, принимающее решение (ЛПР), часть относит к критериям, а часть к ограничениям, а также многокритериального выбора предпочтительной технологии подготовки газа на пожароопасных производственных объектах системы УКПГ;

- архитектура и технологии взаимодействия программных агентов многоагентной адаптивной сетевидной СППР по управлению пожаровзрывобезопасностью объектов ПТО ГДК.

**Теоретическая значимость** результатов, полученных автором в диссертационном исследовании, состоит в развитии научных подходов к повышению эффективности тактического и оперативного адаптивного автоматизированного управления ПВБ объектов ПТО ГДК. Результаты, полученные автором, будут способствовать совершенствованию алгоритмического и программного обеспечения автоматизированных систем управления ПВБ объектов ПТО ГДК, в особенности объектов ГП, являющихся компонентами сложных распределенных структур ГДК, функционирующих в условиях неопределенности и рисков, позволят ведущим газодобывающим предприятиям и сервисным компаниям снизить нагрузку на персонал,

сократить время выполнения операций и достигнуть снижения рисков затрат на обслуживание основных технологических объектов ПТО ГДК.

**Практическая значимость** исследования заключается в возможности применения предложенных моделей и алгоритмов в разработанной МАССПР при определении лицом: - пожаровзрывобезопасных режимов функционирования объектов УКПГ, - технологии подготовки газа и газового конденсата в условиях низкотемпературных режимов. Полученные результаты позволят обеспечить ЛПР информацией об оценивании изменения показателей пожаровзрывобезопасности ОПО ПТО ГДК, об определении работоспособных и неработоспособных пожароопасных состояний групп однородных элементов УКПГ, об уровне рисков при функционировании групп технологических объектов с учетом их взаимодействия, в том числе рисков затрат на восстановление и обслуживание объектов, технологических рисков выхода из строя оборудования, рисков гидратообразования при функционировании оборудования технологических линий подготовки газа и стабилизации конденсата.

#### **4. Личный вклад автора и оценка результатов диссертации**

**Личный вклад** автора диссертационного исследования заключается в участии (совместно с научным руководителем) в постановке научных задач исследования. Диссертантом сформирована методологическая база и получены результаты, обладающие теоретической и практической значимостью. Автором выполнен анализ и проработка подходов к управлению ПВБ объектов нефтегазодобывающей промышленности. Диссертантом выполнен анализ проблем моделирования, автоматизированного управления и оптимизации видов ПТО ГДК в части обеспечения ПВБ ОПО топливно-энергетического комплекса РФ. Автором подготовлено свыше 50-ти научных публикаций, посвященных проблемам управления объектами газодобывающих комплексов, большая часть трудов посвящена решению проблем адаптивного управления функционированием объектов ПТО ГДК, в том числе обеспечению их пожаровзрывобезопасных состояний.

В ходе подготовки диссертационного исследования автором проработано большое количество публикаций и монографий, посвященных проблемам управления ПVB объектов ПТО ГДК, выполнено ознакомление с инновационными разработками в области алгоритмического и программного обеспечения в части поддержки принятия решений по управлению пожаровзрывобезопасностью, в том числе с применением методов и моделей искусственного интеллекта, а также разработки многоагентных систем управления сложными производственными системами. Приведенные исследования способствовали разработке многоагентной адаптивной системы поддержки принятия решений по управлению ПVB ОПО газодобывающей промышленности.

В публикациях, написанных в соавторстве, автору принадлежат разработанные модели, алгоритмы, программное обеспечение и способы решения задач, поставленных в диссертации.

Применение полученных в диссертации результатов позволит повысить показатели эффективности добычи углеводородов, подготовки газа и газового конденсата на объектах ГДК, снизить риск как в части затрат на обеспечение пожаровзрывобезопасных состояний объектов ПТО ГДК, так и в части осложнений и возникновения аварий на объектах системы «пласт-скважина», а также технологических линий УКПГ, СОГ и УПНК газовых промыслов. Кроме того, результаты исследования позволят снизить затраты времени и ресурсов на обеспечение пожаровзрывобезопасных технологических режимов функционирования объектов ГДК.

Практическая значимость полученных результатов подтверждена внедрением предложенных моделей, алгоритмов и программного обеспечения в деятельность структур промышленности нефтегазодобывающей отрасли, в том числе центрах развития инновационных технологий и высших учебных заведениях:

- ООО «Центр мониторинга новых технологий»;
- ООО «П2Т»;

- Академия ГПС МЧС России;
- РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.

## **5. Структура и краткое содержание диссертации**

Диссертационная работа Мухиной А.Г. включает введение, четыре главы, заключение, список используемых сокращений, список литературы из 198 наименований и 3 приложения на 16-ти листах. Общий объем работы составляет 321 страницу текста, 61 рисунок и 74 таблицы.

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, определена цель и задачи для ее достижения, научная новизна, теоретическая и практическая значимость научных результатов, перечислены положения, выносимые на защиту.

Первая глава **«Анализ проблем адаптивного управления пожаробезопасностью объектов производственно-технического обслуживания газодобывающего комплекса»** посвящена исследованию проблематики адаптивного автоматизированного управления пожаровзрывобезопасностью объектов ПТО ГДК.

В главе выполнен анализ степени разработанности вопросов адаптивного управления пожаровзрывобезопасностью объектов и процессов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) и разработки моделей и алгоритмов адаптивных систем поддержки принятия решений на опасных производственных объектах ГДК, в том числе вовлеченных в поддержку процессов добычи и подготовки углеводородов. В главе предложена разработка укрупненной схемы системы ПТО газодобывающего комплекса на пожароопасных объектах НГКМ Крайнего Севера. Разработана система показателей пожаровзрывобезопасности применительно к группам объектов системы «пласт-скважина-УКПГ». Предложена многоконтурная модель адаптивного управления пожаровзрывобезопасностью объектов ПТО ГДК.

Во второй главе **«Разработка моделей, алгоритмов и программного комплекса многоагентной адаптивной системы поддержки принятия решений для многокритериальной оптимизации**

**пожаровзрывобезопасности объектов производственно-технического обслуживания газодобывающего комплекса»** выполнена разработка моделей и алгоритмов обеспечения пожаровзрывобезопасности групп объектов УКПГ с учетом пожароопасных состояний, а также алгоритмов многокритериального выбора предпочтительной пожаровзрывобезопасной технологии подготовки газа.

Описана структурная модель взаимодействия марковских случайных процессов, с помощью которых определено функционирование групп объектов «УКПГ-СОГ-УПНК» (применительно к очистке и осушке газа). Выявлены зависимости между связанными случайными процессами применительно к функционированию групп объектов УКПГ. Предложена система критериев и разработан алгоритм многокритериального выбора предпочтительной технологии подготовки газа и газового конденсата на объектах ГДК. Разработаны модели оптимизации рисков пожаровзрывобезопасности при применении технологий низкотемпературной сепарации и низкотемпературной абсорбции на УКПГ нефтегазоконденсатных месторождений ЯНАО.

Третья глава **«Модели адаптивного прогнозирования многоагентной системы поддержки принятия решений по управлению пожаровзрывобезопасностью объектов производственно-технического обслуживания газодобывающего комплекса»** посвящена решению проблемы адаптивного управления и прогнозирования показателей пожаровзрывобезопасности объектов системы «пласт – скважина» ГДК. Приведен разработанный алгоритм многокритериального выбора модели адаптивного прогнозирования показателей ПВБ объектов ПТО ГДК, отличающийся встроенным алгоритмом многокритериального выбора модели аппроксимации. Приведена постановка и решена задача адаптивного прогнозирования производственных показателей ПВБ с применением модифицированного множественного АФК (с учетом этапа корректировки среднего по ансамблю показателя ПВБ и определением числа подансамблей для иерархического множественного АФК). По результатам применения

модификации иерархического АФК получена минимальная величина среднеквадратического отклонения для среднего по начальному ансамблю показателя ПВБ от среднего по финальному ансамблю.

Четвертая глава **«Модели адаптивного прогнозирования многоагентной системы поддержки принятия решений по управлению пожаровзрывобезопасностью объектов производственно-технического обслуживания газодобывающего комплекса»** посвящена разработке программно-вычислительного комплекса МАСППР с применением методов сетецентрического управления и технологий многоагентного моделирования. Предложена архитектура многоуровневой МАСППР по управлению объектами системы «пласт-скважина-УКПГ», в которой каждый программный модуль рассматривается как программный агент, реализованный с применением библиотек языка взаимодействия агентов (ACL) и стандартов MASIF и FIPA.

Заключение включает основные научно-практические результаты применения предложенных моделей, алгоритмов и программного обеспечения МАСППР по адаптивному управлению ПВБ объектов ПТО ГДК. В приложении представлены акты о внедрении и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

#### **6. Публикации и программные продукты по диссертации**

Результаты по теме диссертационной работы апробированы и приведены в докладах и сборниках трудов 18-ти научно-технических и научно-практических конференциях и семинарах, опубликованы в 11-ти рецензируемых изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (ВАК России), подтверждены актами о внедрении. Получены 4 свидетельства Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Требования к публикации основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, предусмотренные пунктами 11, 13 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 выполнены.

## **7. Соответствие автореферата основным положениям диссертации**

Содержание автореферата в полной мере отражает основные идеи, научные и практические результаты, полученные автором. В структуре автореферата представлена научная новизна, личный вклад автора в проведенное исследование, теоретическая и практическая значимость результатов исследований, соответствующих содержанию диссертации Мухиной А.Г. Текст автореферата отражает содержание разделов диссертационной работы.

## **8. Рекомендации по использованию результатов диссертации**

Результаты диссертационного исследования могут быть задействованы в лабораториях подготовки газа и газового конденсата ведущих нефтегазодобывающих предприятий ГДК РФ, в частности, модели и алгоритмы, предложенные автором в диссертации, способны усовершенствовать процессы управления добычей и подготовкой углеводородов на объектах ГДК НГКМ Арктического региона. В образовательном процессе результаты исследования могут быть применены для учебных целей при проведении практических занятий по дисциплинам, связанным с изучением основ проектирования АСУ объектов ГДК, методов и моделей идентификации объектов и систем управления, функционированием систем противоаварийной защиты, проектированием программно-вычислительных комплексов по управлению эффективностью и безопасностью систем добычи и подготовки газа и газового конденсата.

## **9. Замечания по диссертации**

В качестве замечаний по диссертации Мухиной А.Г. можно отметить следующие положения:

1. Система показателей ПВБ объектов ПТО ГДК, предложенная в первой главе диссертации, было бы хорошо дополнить (согласно основным стандартам СТО и регламентирующей документации), поскольку в таблице не

отражены, к примеру, показатели ПВБ в части подготовки нестабильного конденсата.

2. В первой главе диссертации приведены структурные модели технологических линий подготовки газа на УКПГ. Однако схемы характеризуют линии на ГП нефтегазоконденсатных месторождений Крайнего Севера. Не приведены варианты технологических схем, к примеру, для нефтегазоконденсатных месторождений Восточной Сибири, средней полосы и южных регионов РФ. Как следствие, результаты в части рекомендованных моделей адаптивного прогнозирования пожаровзрывобезопасного состояния объектов ПТО ГДК, представленных во второй главе, и моделей оптимизации рисков при функционировании групп объектов УКПГ могут быть отражены не в полной мере.

3. В третьей главе диссертации в качестве аппарата адаптивного прогнозирования предложено применение модифицированного множественного ансамбля фильтра Калмана (АФК). Однако не рассмотрены случаи применения авторегрессионных моделей (AR, ARMA), интегрированных моделей авторегрессии и скользящего среднего (ARIMA, SARIMA), дробно-интегрированных моделей авторегрессии и скользящего среднего (ARFIMA), нейросетевых моделей (в том числе моделей нечетких нейронных сетей, Байесовских нейронных сетей), ансамблевых методов (XGBoost, LightGBM, CatBoost). Кроме того, недостаточное внимание уделено применению моделей прогнозирования дисперсии для рассматриваемых показателей ПВБ (а именно, обобщенной и дробно-интегрированной модели авторегрессионной условной гетероскедастичности (GARCH, FIGARCH)).

4. В третьей главе диссертации в качестве показателей ПВБ приведены результаты для прогнозирования данных о добыче углеводородов, жидкости, флюида (по причине высокой информативности показателей). Однако не в полной мере представлены результаты прогнозирования обводненности, уровня загазованности и других критических показателей,

определяющих пожаровзрывобезопасное состояние объектов добычи углеводородов в рамках системы «пласт-скважина».

## 10. Заключение

Диссертация Мухиной А.Г. соответствует направлениям исследований паспорта научной специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, а именно п. 15 «Теоретические основы, методы и алгоритмы диагностирования (определения работоспособности, поиск неисправностей и прогнозирования) АСУТП, АСУП, АСТПП», п. 16 «Средства и методы проектирования и разработки технического, математического, лингвистического и других видов обеспечения АСУ» и п. 5 «Научные основы, алгоритмическое обеспечение и методы анализа и синтеза систем автоматизированного управления технологическими объектами».

Диссертация Мухиной Анастасии Геннадьевны является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных экспериментов и проведенных исследований содержится решение научной задачи направленной на развитие топливно-энергетического комплекса РФ, а также совершенствованию направлений использования информационных технологий в рамках реализации национальных проектов России, таких как «Средства производства и автоматизации» и «Экономика данных». Применение предложенных моделей, алгоритмов и модулей программно-вычислительного комплекса многоагентной адаптивной сетевидной КСППР способствует повышению эффективности тактического и оперативного управления пожаровзрывобезопасностью объектов ПТО ГДК, а также снижению рисков возникновения аварий на опасных производственных объектах УКПГ, СОГ и УПНК и затрат на техническое обслуживание основных подсистем газодобывающих комплексов.

Диссертационная работа соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а её автор,

Мухина Анастасия Геннадьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности: 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

Диссертационная работа и отзыв на диссертацию Мухиной А.Г. на тему «Модели и алгоритмы адаптивного автоматизированного управления пожаровзрывобезопасностью объектов производственно-технического обслуживания газодобывающего комплекса» рассмотрены и обсуждены на расширенном заседании Центра разработки цифровых технологий ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ» (Протокол № 1 от 09.06.2026 г.)

Ученый секретарь  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,  
д-р хим. наук, профессор



А.Г. Ишков

Главный научный сотрудник  
Отдела разработки информационных  
систем Центра разработки  
цифровых технологий  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», д-р техн. наук



П.С. Ложников

ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ») 195112, г. Санкт-Петербург, вн.тер.г.муниципальный округ Малая Охта, пр-кт Малоохтинский, д.45, литера А, помещ. 2-Н, офис 812.

Адрес в Московской области: 142717, Московская обл., г.о.Ленинский, п. Развилка, ул. Газовиков, зд.15, стр.1

Телефон рабочий: +7 812 704 01 01 E-mail: [vniigaz@vniigaz.gazprom.ru](mailto:vniigaz@vniigaz.gazprom.ru)

Веб-сайт: [www.vniigaz.gazprom.ru](http://www.vniigaz.gazprom.ru)