

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям  
Федерального государственного  
бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Российский химико-технологический  
университет имени Д. И. Менделеева»,  
д.ф.-м.н.



Е.В. Хайдуков

« 27 » ноября 2024 года

## ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» на диссертацию Алексеевой Полины Геннадьевны «Информационно-измерительная и управляющая система территориально распределенных взаимосвязанных объектов газораспределения» на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы.

### 1. Актуальность темы диссертационной работы

Важным направлением развития информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУ-систем) для газовой отрасли является объединение расположенных на значительном удалении объектов газораспределительных сетей (ГРС). При этом активно используются защищенные каналы сети сотовой связи. Технологические данные от территориально распределенных объектов поступают на диспетчерские пункты газораспределительных организаций, что обеспечивает мониторинг потоков газа в газовых сетях в реальном времени для принятия оперативных управляющих решений. Накопленные большие данные от множества объектов обрабатываются методами теории искусственного интеллекта и применяются для построения компьютерных моделей газораспределительных сетей.

Диссертационная работа Алексеевой П.Г. посвящена вопросам разработки ИИУ-системы для ГРС на большой территории с применением предиктивной аналитики и процедур прогнозирования возможных нештатных ситуаций, в том числе выброса газа для повышения безопасности и эффективности работы оборудования ГРС.

Диссертационная работа актуальна и соответствует Стратегии цифровой трансформации ПАО «Газпром» на период 2022–2026 годов.

## **2. Оценка содержания диссертации и её завершенность**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 116 наименований, 8 приложений и изложена на 163 страницах.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, определены цель и задачи исследования; сформулирована научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту; представлены сведения об апробации научных результатов исследования.

**В главе 1** приведены аналитический обзор и анализ ИИУ-систем территориально распределенных объектов ГРС, применяемых математических моделях и методах обработки данных для управления объектами газораспределения в реальном времени; поставлены задачи диссертационной работы.

**В главе 2** обоснована и разработана структура информационно-измерительной системы (ИИ-система) территориально распределенных взаимосвязанных объектов ГРС.

Разработаны математическая модель взаимосвязанных объектов в системе территориально распределенных ГРС и модель расчета объема выброса газа при срабатывании сбросных клапанов в системах безопасности эксплуатации газового оборудования.

Разработаны подсистема сбора и анализа многопараметрических данных о работе оборудования с фиксацией технологических параметров в реальном масштабе времени; модули подготовки и нормализации обучающего набора данных и классификации аудиоданных в режиме реального времени.

Предложены алгоритмы работы подсистемы сбора и анализа многопараметрических данных ИИУ-системы, сформулированы требования к аппаратно-программной реализации подсистемы.

**В главе 3** обоснован метод обработки потоков данных территориально распределенных взаимосвязанных объектов газораспределения в ИИУ-системе с использованием методов теории искусственных нейронных сетей (ИНС). Разработана структура нейронной сети (НС), проведено обучение НС на реальных потоках данных ИИ-систем объектов газораспределения; выполнен анализ систем цифровых двойников. Проведена реализация классификационной НС по группе контрольных объектов.

На основе анализа параметров изменения технологических параметров работы оборудования предложен метод прогнозирования и возможного

появления аварийных ситуаций на объектах газораспределения с подтверждением результатов по данным реальных событий на ряде газораспределительных объектов Тульской области.

**В главе 4** изложена техническая реализация ИИУ-систем объектов ГРС и представлены результаты экспериментальных исследований сопоставимости разработанных моделей и методов.

Реализован алгоритм определения срабатывания предохранительного сбросного клапана на базе нейрокомпьютера для минимизации выбросов природного газа в атмосферу.

Приведены результаты испытаний ИИУ-систем объектов ГРС, блоков учета технологических потерь газа при аварийных сбросах через предохранительные сбросные клапаны и визуализации нейросетевого прогнозирования основных технологических параметров объектов газораспределения.

**В заключении** изложены основные результаты диссертационной работы.

**Структура и содержание диссертации соответствует поставленной цели и задачам исследования**, главы диссертации заканчиваются выводами и рекомендациями, а в заключении описаны общие итоги проведённых научных исследований.

**В приложениях** представлены коды программ модулей нейросетевого прогнозирования Model.py и запуска инструментов нейросетевой обработки Object.py; технология определения открытия сбросного клапана в режиме реального времени с использованием одноплатных нейрокомпьютеров; представлены акты использования результатов диссертационной работы на 4-х предприятиях и применения в учебном процессе.

### **3. Научная новизна диссертационной работы и полученных результатов, выводов и рекомендаций**

Научная новизна диссертационной работы сформулирована автором в виде следующих обоснованных основных положений:

- разработан алгоритм виброакустического контроля срабатывания предельного сбросного клапана с определением объемов выброса природного газа в атмосферу и исправности клапана в ИИУ-системе с применением методов теории ИНС;

- разработаны архитектура и алгоритм работы подсистемы сбора и анализа многопараметрических данных о функционировании оборудования в режиме реального времени и классификация технологических событий работы

взаимосвязанного оборудования газораспределительных сетей ИИУ- системы, отличающейся использованием для формирования прогноза параметров созданных и дообучаемых цифровых двойников объектов на основе текущих параметров объектов и архивных параметров с заданной глубиной, а также данных о всех проводимых работах и мероприятиях на контролируемых объектах;

- разработаны структуры и математическая модель объектов ИИУ- системы территориально распределенных, взаимосвязанных ГРС с расширенным функционалом, с применением ИНС;

- проведены исследования сопоставимости моделей и методов прогнозирования ИИУ-системой технологических параметров ГРС.

#### **4. Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов**

**Теоретическая значимость работы** заключается в применении нейросетевых технологий для предиктивного анализа и прогноза технологических параметров объектов газораспределительной сети для расширения функциональных возможностей информационно-измерительных и управляющих систем территориально распределенных газораспределительных сетей, отличающихся тем, что математическая модель, построенная для связанных объектов и прогнозирование развития событий на одном из них, позволяет спрогнозировать развитие и на всех остальных, а так же в разработке математической модели объектов ИИУ- систем территориально распределенных газораспределительных сетей с применением методов теории ИНС, отличающейся применением функционала цифровой модели объектов с формированием обучаемого цифрового двойника.

**Практическая ценность работы** состоит в применении результатов исследований, разработанных моделей и методов для проектирования новой серии информационно-измерительных и управляющих систем территориально распределенных взаимосвязанных объектов газораспределения.

#### **5. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, сформулированных в диссертации**

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, сформулированных в диссертации, подтверждаются: корректностью постановки задач и принятых допущений; проведенным обзором и анализом ранее выполненных научных исследований по моделям и методам построения информационно-измерительных и

управляющих систем территориально распределенных взаимосвязанных объектов газораспределения, корректным применением математического аппарата, использованием аналитических и экспериментальных методов исследования; проведением испытаний и внедрением систем на ряде предприятий газовой отрасли.

#### **6. Публикации и апробация результатов диссертации**

Основные положения и научные результаты работы достаточно полно изложены в 17 печатных работах, из них 4 статьи в ведущих рецензируемых научных изданиях и изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ, 2 статьи в межвузовских сборниках.

Новизна исследований защищена в качестве 5 объектов интеллектуальной собственности, из них 2 патента на изобретения и 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Основные теоретические положения, выводы и рекомендации, сформулированные в работе, докладывались автором на 6 международных и всероссийских конференциях и обсуждались на научных семинарах кафедры охраны труда и окружающей среды Тульского государственного университета.

Опубликованные по результатам исследований материалы достаточно полно отражают основное содержание диссертационной работы.

#### **7. Реализация результатов исследования**

Научные результаты, представленные в диссертации, имеют важное практическое значение и применение в работе АО «Газпром газораспределение Тула», ООО ПКФ «Экс-Форма», ООО «СервисСофт Инжиниринг», ООО «РусГазТехнологии».

Ряд положений активно используется в учебном процессе на кафедре охраны труда и окружающей среды Института горного дела и строительства Тульского государственного университета.

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

Результаты диссертационной работы актуальны для предприятий газовой отрасли и имеют важное практическое значение для инжиниринга и эксплуатации центров мониторинга ГРС, диспетчерских пунктов; для повышения безопасности, снижения потерь газа и организации системы предиктивного обслуживания газораспределительного оборудования по результатам измерения и аналитической обработки технологических данных о

работе оборудования ИИУ-системой территориально распределенных взаимосвязанных объектов ГРС в реальном времени.

#### **9. Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Содержание диссертации соответствует предметной области научной специальности 2.2.11. «Информационно-измерительные и управляющие системы» и пункту паспорта 2 «Исследование возможностей и путей совершенствования существующих и создания новых элементов структуры и образцов информационно-измерительных и управляющих систем, улучшение их технических, эксплуатационных, экономических и эргономических характеристик, разработка новых принципов построения и технических решений».

#### **10. Соответствие автореферата основному содержанию диссертации**

Структура и содержание автореферата полностью соответствуют основному содержанию диссертации и отражают научные положения, результаты, основные выводы, научную новизну и практическую значимость научно-квалификационной работы.

#### **11. Соответствие диссертации и автореферата установленным требованиям**

Структура и оформление диссертационной работы и автореферата полностью соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

#### **12. Замечания по тексту диссертации**

1. В главе 1 проведен анализ существующих ИИУ-систем для газораспределительных сетей, однако не в полной мере изложены недостатки известных систем, которые преодолеваются разрабатываемой автором диссертационной работой системой.

2. В диссертации большое внимание уделяется интеграции разрабатываемых ИИУ-систем в существующие в настоящее время информационные системы, приведена карта распределения объектов, но не описаны взаимосвязи и примерные расстояния между ними, нет описания масштабности известных систем, не указано количество охватываемых объектов ГРС.

3. В математической модели взаимосвязанных объектов ИИУ-систем следовало бы более подробно описать взаимосвязи между объектами.

4. В работе представлена структура ИИУ-системы взаимосвязанных объектов ГРС, подсистема сбора и анализа многопараметрических данных работы оборудования в режиме реального времени, модули подготовки и нормализации обучающего набора данных, разбора и разметки аудиоданных для обучения ИНС, модуль классификации аудиоданных в режиме реального времени, однако их взаимодействие необходимо описать более подробно.

5. Разработан датчик виброакустического контроля срабатывания предельного сбросного клапана, как нового элемента ИИУ-системы взаимосвязанных объектов ГРС, однако не указаны его метрологические параметры. Не ясно, каким образом определяется объем потерь газа при его срабатывании.

6. Результаты работы использованы в ИИУ-системах на объектах целого ряда газораспределительных организаций. Было бы целесообразно представить результаты именно промышленной эксплуатации разработанных систем.

7. В диссертации имеются редакционно-технические неточности: на стр. 99 нет подрисуночной подписи к рис. 4.13; на представленных фотографиях промышленного оборудования (рис. 4.2, 4.3 на стр. 88, рис. 4.4. на стр. 89 и рис. 4.7 на стр. 93 диссертации) не указаны предприятия, на которых проводилось внедрение; не представлены технические результаты эксплуатации разработанных систем; списки предприятий, где проводились испытания и применения разработанных систем на страницах 11 и 103 диссертации различаются между собой.

Указанные замечания не влияют на достоверность полученных в диссертации результатов.

### **13. Заключение**

Диссертация Алексеевой Полины Геннадьевны «Информационно-измерительная и управляющая система территориально распределенных взаимосвязанных объектов газораспределения» представляют собой самостоятельную выполненную, завершенную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения и разработки по совершенствованию существующих и созданию новых элементов структуры ИИУ-систем, улучшению их технико-эксплуатационных характеристик, обеспечивающих достоверную оценку состояния и предиктивное обслуживание объектов газораспределения для снижения их аварийности и повышения безопасности, сокращения объемов

потерь газа, что имеет существенное значение для развития предприятий газовой отрасли.

Диссертационная работа по своему содержанию, научному уровню и завершённости исследования соответствует критериям, изложенным в пунктах 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённым Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 № 842, а её автор, Алексеева П.Г. заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11. «Информационно-измерительные и управляющие системы».

Отзыв рассмотрен и одобрен по результатам обсуждения диссертационной работы на научном семинаре Международного института логистики ресурсосбережения и технологической инноватики (НОЦ) Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева (протокол №3 от «05» ноября 2024 года).

Я, Мешалкин Валерий Павлович, даю своё согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Директор Международного  
института логистики  
ресурсосбережения и  
технологической инноватики (НОЦ)  
Российского химико-  
технологического университета  
имени Д.И. Менделеева,  
д.т.н., профессор,  
академик РАН  
специальности 05.13.12  
05.17.08



Мешалкин Валерий Павлович

Почтовый адрес: 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9, стр. 1

Телефон: +7 (499) 978-86-60, +7 (499) 978-31-64.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Адрес электронной почты: [pochta@muctr.ru](mailto:pochta@muctr.ru)