

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО «Тамбовский  
государственный технический  
университет»

д.т.н., профессор

Д.Ю. Муромцев

«29» августа 2024 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

### ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

на диссертацию Костандяна Артура Валериевича на тему: «Автоматизированная система контроля и идентификации источников небаланса газа в газотранспортной системе», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

#### Актуальность темы диссертации

Актуальность темы исследования диссертационной работы обусловлена необходимостью совершенствования оперативно-диспетчерского управления газотранспортными системами (ГТС).

Поддержание сбалансированных режимов транспортировки природного газа является ключевой задачей эффективности функционирования газотранспортной системы.

Принятие решений по управлению режимами трубопроводной газотранспортной системы осуществляется на основе обработки большого объема информации (структурированные и неструктурированные большие массивы данных, относящихся к классу больших баз данных), от средств измерений измерительной системы параметров газа и анализа результатов на определенном временном интервале.

Качество и эффективность газоснабжения определяются величиной небаланса природного газа (ПГ) и выступает главным критерием качества системы управления ГТС.

Важной задачей, в связи с этим, является внедрение и интенсивное развитие новых информационных технологий идентификации причин и источников небаланса природного газа.

В настоящее время отсутствуют примеры системной реализации задач оперативной идентификации причин и источников небаланса природного газа, обеспечивающих эффективное управление ГТС. В связи с этим, диссертационная работа Костандяна А. В., посвященная этим проблемам актуальна.

#### Структура и содержание диссертационной работы

Диссертационная работа включает в себя введение, пять глав, выводы, список используемой литературы. Общий объем диссертации составляет 188

страниц, включающие 48 рисунков, 14 таблиц и одно приложение. Список цитируемой литературы содержит 179 наименований.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель и основные задачи исследований. Изложена научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы, представлена методология и методы исследования, степень достоверности и приведены данные об апробации работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

**В главе 1** (стр. 12 – 47) представлен обзор и анализ методов идентификации причин и источников небаланса природного газа в ГТС. Приведены методики расчета и контроля неучтенного ПГ в сети газотранспортной системы. Представлены основные математические модели газотранспортной системы для расчетов и анализа режимов работы ГТС и оценки возможных причин возникновения небаланса газа в ГТС. Представлен обзор теоретических методов оценки недостоверности измерительной информации при сведении материального баланса и сформулированы задачи диссертационной работы. Показано обоснование важности и необходимости процедуры согласования данных при оптимизации управления ГТС и сведении материальных балансов в режиме реального времени.

Разработка и внедрение системы оперативного обнаружения источников и причин небаланса транспортируемого природного газа в режиме реального времени обеспечат высокое качество функционирования ГТС и станут неотъемлемой составляющей автоматизированной оперативно-диспетчерской системы управления.

**В главе 2** (стр. 48 – 96) сформулирована постановка задачи управления и разработана математическая модель транспортировки природного газа в газопроводных сетях с учетом динамики и допущением изотермического процесса Эйлера, основанная на сохранении массы и импульса при постоянстве энергии.

В диссертационной работе рассмотрены методы обнаружения утечек, основанные на внешних измерениях (внешние) и внутренние, основанные на измерении расхода и давления в трубопроводе: обнаружение волнового давления; метод баланса объемов; градиентный и аналитический методы.

Сжимаемость среды имеет большое влияние в случае газопроводов и менее важна для трубопроводов жидких углеводородов.

В газопроводах расход является функцией спроса на газ, на который поставщик газа не имеет большого влияния. Спрос на газ является переменным в течение суточного цикла (почасовое повышение в течение суток) и в течение года (повышается в периоды низких температур, температурных периодов).

В отличие от трубопроводов транспортировки жидких сред (периодическое включение и отключение, в зависимости от контрактов между поставщиком и получателем), газопровод, однажды запущенный должен эксплуатироваться непрерывно в течение всего времени (часто в течение нескольких десятков лет), за исключением возможных отказов.

Методы обнаружения и локализации (обнаружения) утечек в системе газопроводов должно отвечать трем следующим задачам: обнаружение утечки; формирование сигнала тревоги; локализация утечки; оценка расхода утечки.

Следует отметить, важным фактором является устойчивость (робастность) системы обнаружения утечек к возмущениям, определяющим качество алгоритма обнаружения утечек, что эквивалентно чувствительности к грубым ошибкам.

Это означает отсутствие ложных срабатываний, вызванных технологическими операциями (пуск/остановка компрессора/насоса, смена питающего резервуара, изменение типа транспортируемой среды, закрытие/открытие клапанов, смена приемных резервуаров).

Основное различие между методами прогнозирования по модели и оценки с помощью фильтра частиц (ФЧ) заключается в том, что прогнозируемые состояния обновляются с помощью доступных измерений. Таким образом, оценка режимных параметров ГТС методом фильтра частиц более достоверна и доверительна чем предсказанные по модели.

При возникновении утечки на участке последующие участки трубопровода также покажут характер этого отклонения. Таким образом, сравнивая имеющиеся промежуточные измерения давления с оценкой ФЧ в промежуточных узлах, локализует участок утечки.

ФЧ, как инструмент оценки профиля давления по длине трубопровода, функционирует в два этапа. На первом этапе предсказывает неизвестные состояния с помощью модели процесса. На втором этапе корректирует предсказанные состояния с помощью имеющихся измерений и восстанавливает начальное состояние для следующего узла трубопровода.

**В главе 3** (стр. 97 – 132) представлены алгоритмы контроля баланса газа в трубопроводной газотранспортной системе, идентификации причин возможного небаланса и формирования рекомендаций по устранению причин небаланса газа для эффективного управления газотранспортной системой.

Эффективность функционирования газотранспортной системы в немалой степени обеспечивается подсистемой оперативного обнаружения источников и причин небаланса газа «вход – выход», их устранение, контроль и регулирование производственной ситуации в режиме реального времени.

Математическая формулировка и структура уравнений, моделирующих процесс транспортировки природного газа, учитывает топологию трубопроводной системы, внутреннее состояния труб (коррозия) и физико-химические параметры транспортируемой среды.

**В главе 4** (стр. 133 –149) предложена платформа информационных технологий построения системы, генерирующих знания об объекте управления, как приложения, в которых возможна работа в режимах офлайн, так и онлайн с адаптацией к изменениям в объекте в режиме реального времени.

Представляет интерес разработанный алгоритм интеллектуальной системы оценки измерений в режиме реального времени для решения проблемы диагностики измерительной системы и коррекции грубых измерений,

являющейся по существу интеллектуальным цифровым калибратором. Предложена модель онлайн-мониторинга элементов измерительной системы, основанная на использовании автоассоциативных нейронных сетей с использованием аппарата статистического анализа исходных данных для группировки по их принадлежности к режимам технологического процесса для корректной самокоррекции ошибочных измерений в каждой из этих групп.

Построение и реализация на промышленных объектах модель онлайн-мониторинга элементов измерительной системы обеспечит качество существующих систем управления как с точки зрения достоверности измерений, так и надежности.

**В главе 5** (стр. 150 – 149) представлены структуры разработанных программного комплекса статистического анализа достоверности измерений и обнаружения утечек в трубопроводах транспортировки природного газа (рис. 5.2).

Разработан программный комплекс оценки и идентификации грубых ошибок, корректировки и восстановления измерений. Представлен обширный материал по результатам моделирования обнаружения и локализации утечек в газопроводе (раздел главы 5.2.2). Результаты идентификации и корректировки грубых ошибок измерений (раздел главы 5.3). Результаты оценки и корректировки грубых ошибок получены на основе исходных данных по напору компрессорной станции газотранспортной системы через каждые два часа начиная с 01. 11. 2019 в 10:00:0. Графические и табличные результаты приведены в разделе 5.3. Смоделированы и исследованы три случая геометрического профиля трубы: прямолинейный трубопровод без уклона; прямолинейный трубопровод с уклоном; алгоритмы с учётом геометрического профиля трубы через гидравлические характеристики.

#### **Научная новизна полученных результатов**

На основе современных подходов и методов оценки эффективности сбалансированной работы газотранспортной системы научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Предложен комплексный подход к анализу режимов работы газотранспортной системы и причин небаланса транспорта природного газа, базирующийся на построении имитационной модели с учетом характеристик компрессоров.
2. Разработана математическая модель анализа режимов газотранспортной системы и идентификации возможных источников и причин возникновения небаланса природного газа.
3. Разработана логическая схема локализации причин небаланса на линейных участках газотранспортной системы и итерационный алгоритм идентификации мест утечек природного газа на линейных участках трубопроводов.
4. Разработана интеллектуальная система диагностики измерительной системы и оценки достоверности измерений в режиме реального времени, коррекции грубых измерений.

### **Значимость результатов исследования для науки и практики**

Разработаны экспериментально-аналитические модели и алгоритмы:

1. Оценки достоверности измерительной информации (обнаружение грубых ошибок) и ее восстановления.
2. Интеллектуальной системы калибровки и корректировки показаний измерительной системы в онлайн режиме.
3. Идентификации и локализации мест утечек в трубопроводах транспортировки жидких и газообразных углеводородов методом фильтра частиц.
4. Оперативного обнаружения источников небаланса газа в газотранспортной системе.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке алгоритмов и программного комплекса идентификации источников и причин небаланса газа в газотранспортной системе, как подсистемы автоматизированной системы диспетчерского управления.

### **Обоснованность и достоверность научных положений, результатов и выводов диссертации**

Научные положения и выводы диссертационной работы Костандяна А.В. обоснованы проведением научных исследований и подтверждаются значительным объемом теоретических и практических данных.

Полученные результаты и их достоверность не противоречат данным моделирования тестовой задачи. Работа апробирована на международных и российских научно-практических конференциях.

По теме диссертационной работы опубликовано 12 печатных работ, отражающие ее основные научные результаты, в том числе одна статья, индексируемая в международной базе данных Scopus, 4 статьи в рецензируемых изданиях ВАК. Получено свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ №2023689075 от 26.12.2023 г.

### **Рекомендации по практическому использованию результатов диссертационного исследования**

Теоретические положения и практические результаты диссертационной работы по применению фильтра частиц для обнаружения утечек в трубопроводах показывают адекватное отображение динамики реального объекта и может служить в качестве программного обеспечения - «мягкого» («виртуального») датчика реальной системы для эффективного обнаружения утечек в трубопроводах транспортировки природного газа, нефти и нефтепродуктов.

Разработанный программный комплекс рекомендован к внедрению на газотранспортных предприятиях ПАО «Газпром», как подсистема оперативного обнаружения источников и причин небаланса газа, его устранение, контроль и регулирование в режиме реального времени, которая обеспечит высокое качество функционирования газотранспортной системы и станет неотъемлемой составляющей автоматизированной системы диспетчерского управления.

## Замечания и рекомендации по диссертации

1. В литературном обзоре подробно представлены основные математические модели и подходы идентификации причин и источников небаланса газа в газотранспортных системах. Вместе с этим, было бы нелишним связать достоверность измерительной информации и необходимость процедуры их согласования.

2. В главе 2, наряду с подробным представлением подходов к моделированию и методов идентификации утечек в трубопроводах, не представлены критерии выбора метода обнаружения утечек.

3. В главе 3 (стр. 99) в первой строке текста неточность (синтеза причинно-следственных связей развития «баланса» газа от различных факторов...), а должно быть «небаланса» газа. В названии раздела 4.4.2 присутствует грамматическая ошибка (стр. 145 – «Интеллектуального» система..., правильно – «Интеллектуальная система...»), которые, очевидно, следует отнести к опечаткам.

4. На рис. 3.1, гл. 3 - Укрупненная блок-схема этапов решения задачи идентификации причин и источников небаланса газа, этап идентификации источников газа, следовало бы указать номера рисунков блок-схемы алгоритмов идентификации источников небаланса 3.2, 3.8.

5. Не приводится обоснование выбора сети Хопфилда для построения интеллектуальной системы калибровки приборов.

6. В главе 4.2 нет полного описания представленной функциональной структуры автоматизированной системы контроля и идентификации источников небаланса газа, рис. 4.5.

7. Не представлена среда формирования базы данных в блоке 4, рис. 4.5.

Представленные в диссертации разработанные модели и алгоритмы автоматизированного контроля и идентификации причин и источников небаланса в газотранспортной системе реализует взаимодействие системы управления с интеллектуальным уровнем принятия решений через сеть связи с низкой задержкой и высокой надежностью. Разработанные программные модули будут использованы в оперативно-диспетчерских службах предприятий Газпром трансгаз.

Интеллектуальный уровень принятия решений обеспечивает такие функциональные приложения, как оптимизация и управление в режиме реального времени, прогнозирование и раннее предупреждение развития аварийных ситуаций, сведение материального и энергетического балансов по потокам с применением технологий искусственного интеллекта. Уровень принятия решений ориентирован на "регулирование", а интеллектуальный уровень управления - на "контроль и управление" и функционируют в тесной взаимосвязи. Двухуровневая архитектура системы посредством передачи данных повышает интеллектуальность управления газопроводной сетью в целом.

Сделанные замечания не снижают теоретической ценности и практической значимости диссертационного исследования.

## **Общая характеристика работы и соответствие диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней**

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям и результатам исследований, диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, включая следующие направления исследований:

1. Научные основы и методы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами.

2. Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления и их цифровых двойников.

3. Формализованные методы анализа, синтеза, исследования и оптимизации модульных структур систем сбора, хранения, обработки и передачи данных в АСУТП и др.

4. Методы создания, эффективной организации и ведения специализированного и программного обеспечения АСУТП, АСУП и др., включая базы данных и методы их оптимизации, промышленный интернет вещей, облачные сервисы, удаленную диагностику и мониторинг технологического оборудования.

5. Теоретические основы, методы и алгоритмы диагностирования (определения работоспособности, поиск неисправностей и прогнозирования) АСУТП, АСУП.

Автореферат отражает содержание диссертации, актуальность, новизну, практическую значимость и личный вклад автора в проведенное исследование.

### **Заключение**

Диссертационная работа Костандяна А.В. на тему «Автоматизированная система контроля и идентификации источников небаланса газа в газотранспортной системе» полностью соответствует пунктам «Положения о присуждении ученых степеней в федеральном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева». Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые обоснованные научно-технические решения, направленные на решение ключевых задач эффективного функционирования трубопроводной газотранспортной системы. Качество и эффективность системы газоснабжения определяются величиной небаланса природного газа и выступают главными критериями эффективного учета поставляемого газа.

По содержанию диссертационной работы можно сформулировать следующие выводы:

1. Цель и задачи диссертации обусловлены отсутствием системного подхода решения и реализации задач оперативной идентификации причин и источников небаланса газа, обеспечивающих принятие решений для эффективного управления газотранспортными системами.

2. Поставленная цель исследования в диссертации достигнута, сформулированные задачи решены на высоком научно-техническом уровне.

3. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ, автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертации и личный вклад автора в решение поставленных задач.

4. По тематике, методам научного исследования, полученным результатам диссертация соответствует паспорту специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

5. Тема диссертации является актуальной, научные положения и выводы – достоверными, содержание опубликованных работ соответствует основным положениям диссертации и достаточно полно отражает их, в том числе в журналах из перечня ВАК.

6. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, а ее автор Костандян Артур Валериевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Диссертационная работа и отзыв доложены, обсуждены и единогласно одобрены на заседании кафедры «Информационные процессы и управление» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». (Протокол № 1 от 29 августа 2024 г.)

Заведующий кафедрой «Информационные процессы и управление»  
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

д.т.н., профессор

Матвейкин Валерий Григорьевич

Профессор кафедры «Информационные процессы и управление»  
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

д.т.н., профессор

Дмитриевский Борис Сергеевич

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет»

Адрес: 392000 г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, помещение 2.

Тел. (4752) 63-10-19. E-mail: [tstu@admin.tstu.ru](mailto:tstu@admin.tstu.ru)

ФГБОУ ВО «ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Подпись *Матвейкина В.Г.*

ЗАВЕРЯЮ

Начальник Управления кадровой политики

*Л.И. Соколова*

«29» *08* 20*24*

ФГБОУ ВО «ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Подпись *Дмитриевского Б.С.*

ЗАВЕРЯЮ

Начальник Управления кадровой политики

*Л.И. Соколова*

«29» *08* 20*24*