



# ТЕЗИСЫ

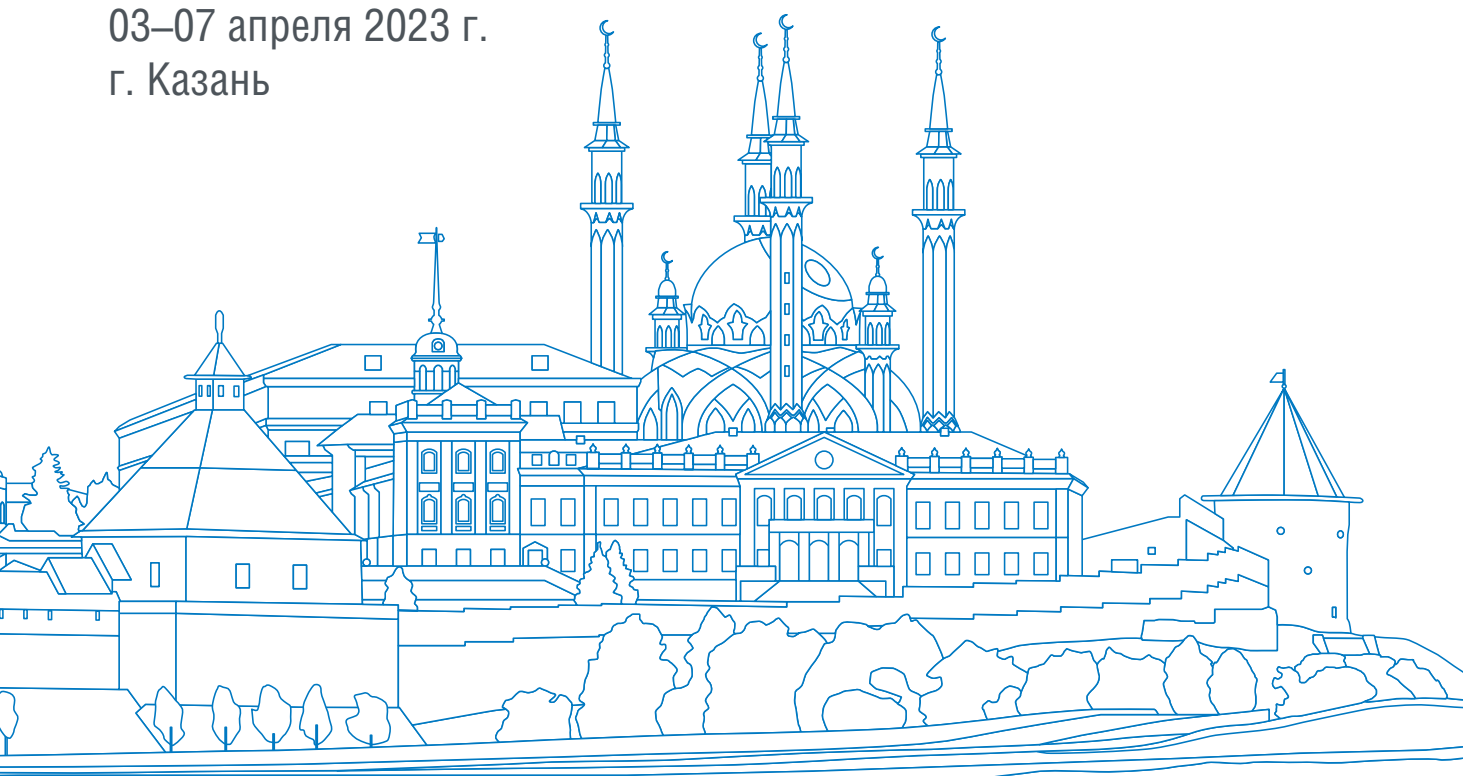
**IX** МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ



## ГАЗОТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ



03–07 апреля 2023 г.  
г. Казань



Публичное акционерное общество «Газпром»  
Общество с ограниченной ответственностью  
«Газпром ВНИИГАЗ»

IX Международная научно-техническая конференция

**ГАЗОТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ:  
НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ  
(ГТС-2023)**

03–07 апреля 2023 г.

**Тезисы докладов**

**Газотранспортные системы: настоящее и будущее (ГТС-2023): тезисы докладов.** – Казань: Газпром ВНИИГАЗ, 2023. – 113 с.

Настоящий сборник составлен по материалам IX Международной научно-практической конференции, проходившей в Казани 03–07 апреля 2023 г.

Структура сборника соответствует программе конференции.

## **ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ**

## **Актуальные вопросы магистрального транспорта газа**

*В.А. Михаленко, А.Н. Бронников  
(ПАО «Газпром»)*

В состав Единой системы газоснабжения России входит крупнейшая в мире система магистральных газопроводов высокого давления. Эта уникальная по размерам и качественным параметрам газотранспортная система (ГТС) обеспечивает высокую надежность поставок газа потребителям в России и за рубежом, которая достигается путем непрерывного развития газотранспортной системы за счет создания новых, высокотехнологичных газопроводов; реконструкции, модернизации и технического перевооружения действующих мощностей; реализацией программы по выводу избыточных газотранспортных мощностей.

Актуальная геополитическая ситуация ставит перед отечественной газовой промышленностью множество сложнейших научно-технических задач, выполняемых в рамках данной системной работы, среди которых нельзя не выделить задачи развития газотранспортной системы для обеспечения газоснабжения потребителей с учетом реализации программ газификации и газоснабжения субъектов России, а также с целью наращивания объемов поставок в страны Азиатско-Тихоокеанского региона, задачу обеспечения надежной, безопасной и эффективной работы газотранспортной системы, инновационное развитие, повышение технологического потенциала, включая реализацию политики импортозамещения.

Научно-техническое сопровождение решения данных задач – непременное условие обеспечения надежной, безопасной и эффективной транспортировки газа потребителям.

Научно-технической политикой ПАО «Газпром» определяется разработка инновационных и внедрение наиболее эффективных мировых и отечественных технологических и технических решений на стадии реализации инвестиционных проектов сооружения и реконструкции магистральных газопроводов, эффективной эксплуатации объектов ГТС.

ПАО «Газпром» является лидером в использовании наиболее передовых и эффективных технологий технической диагностики и ремонта трубопроводов и оборудования, объективных количественных методов прогнозирования надежности и рисков, интеллектуальных инструментов Системы управления техническим состоянием и целостностью объектов ГТС.

ПАО «Газпром» эффективно отвечает на вызовы времени, поддерживает тренд своего технологического развития на высоком уровне. Составляющие этого тренда представлены в докладе, освещены новые технологии и оборудование, разработанные для применения на объектах транспорта газа.

## **Инновационные решения – основа эффективной газотранспортной системы ПАО «Газпром»**

*М.Ю. Недзвецкий*  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

В докладе обсуждаются основные направления и результаты деятельности ООО «Газпром ВНИИГАЗ» по созданию и внедрению инновационных технических решений в сфере транспорта и использования газа.

Головной научно-исследовательский центр ПАО «Газпром» в области технологий – ООО «Газпром ВНИИГАЗ» – обеспечивает технологическое развитие отрасли, включая внедрение инноваций по всей технологической цепочке от формирования ресурсной базы, добычи, транспорта и хранения газа до его переработки. Важное внимание уделяется разработке мер экологической и промышленной безопасности для всех этапов технологической цепочки, развитию средств технического диагностирования и мониторинга производственных объектов, поиску и созданию новых ремонтных и строительных технологий, разработке специализированного программного обеспечения.

Инновационная деятельность института неразрывно связана с разработкой новых технических решений, проведением испытаний опытных образцов техники, экспертизой предложений внешних разработчиков и производителей, включая оценку технических и экономических факторов эффективности, обобщением требований к новым продуктам и технологиям в системе стандартизации ПАО «Газпром».

Накопленные знания и опыт институт распространяет среди специалистов отрасли через информационные ресурсы, систему профессионального обучения и повышения квалификации, популяризации науки в научной литературе и СМИ.

Важные на сегодня результаты деятельности в сфере газотранспортных технологий: внедрение современного диагностического оборудования и искусственного интеллекта в Систему управления техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы (СУТСЦ ГТС); оценка возможности использования существующей ГТС ПАО «Газпром» для транспортировки и хранения водородосодержащего газа; разработка комплексных программ; устранение нарушений зон минимальных допустимых расстояний объектов ГТС ПАО «Газпром».

В ближайшем будущем предстоит: продолжение работ по сквозным проектам; завершение освоения производства и начало применения новых видов трубной продукции на объектах Единой системы газоснабжения; развитие Интеллектуальной системы сопровождения технического диагностирования производственных объектов ПАО «Газпром»; разработка системы комплексного мониторинга объектов как элемента СУТСЦ ГТС; создание Корпоративного экспериментального комплекса для оценки ресурса и работоспособности трубопроводов.

## Основные направления развития турбокомпрессорного оборудования АО «НЗЛ»

*А.А. Шубин, В.К. Юн  
(АО «НЗЛ»)*

АО «Невский завод» осуществляет конструкторские разработки, изготовление и комплексные поставки энергетического оборудования для нефтегазовой отрасли, металлургической, химической промышленности и энергетики. Поставляемое оборудование широко применяется для модернизации газотранспортной системы, при строительстве современных энергоблоков и электростанций, в малой генерации, на рынке СПГ и в ряде других отраслей.

Более половины поставляемой продукции приходится на долю ПАО «Газпром». Основная линейка продукции – центробежные и осевые компрессоры, стационарные газовые турбины до 32 МВт, паровые турбины, ГПА и ЭГПА, системы комплексной автоматизации промышленных объектов, продукция собственного металлургического производства.

Невский завод является ключевым российским производителем энергетического оборудования, лидером в сегменте индустриальных газовых турбин средней мощности, единственным в России производителем стационарных газовых турбин мощностью 32 МВт и компрессоров смешанного хладагента для производства СПГ.

АО «НЗЛ» обладает компетенциями для обеспечения поставок компрессорного оборудования всех типов для нужд производства СПГ. Это обеспечивается за счет высокого научно-технического потенциала предприятия, опыта самостоятельного выполнения полного комплекса проектно-конструкторских работ, а также полного цикла производства и обеспечения пуско-наладки поставляемого оборудования. Для производства СПГ Невским заводом был разработан и введен в эксплуатацию на заводе «Криогаз-Высоцк» в 2018 г. компрессор К905-71-1С.

В рамках программы локализации основного и вспомогательного оборудования ГПА-32 «Ладога» разработана собственная система автоматического управления и блок управления газотурбинной установкой на базе отечественного программно-технического комплекса «ТЕКОН». Сформирован перечень критических позиций ГПА-32 «Ладога», закупаемых у иностранных производителей, импортозамещение которых позволит добиться 100%-ной локализации производства. По результатам локализации комплектующие ГПА-32 «Ладога» внедряются в производственные заказы АО «НЗЛ».

## О работе нефтегазового кластера ГАУ «ИТ-парк»

*Р.И. Власов*

*(ГАУ «Технопарк в сфере высоких технологий «ИТ-парк»)*

Центр нефтегазового кластера – это площадка, вобравшая в себя лучшие отечественные отказоустойчивые решения от резидентов ИТ-парка для нефтегазовых компаний.

Клиентами членов нефтегазового кластера являются такие компании, как «Газпром», «Газпром нефть», «Новатэк», «Лукойл», ИНК, «Салым петролеум», ЯРЕГО и «Туймаада-нефть».

ГАУ «ИТ-парк» проводит технологический аудит, изучает потребности предприятия и обеспечивает аутсорс-разработку программного обеспечения под нужды организации либо интеграцию существующих систем от резидентов под гарантом ГАУ «ИТ-парк». Также Центр нефтегазового кластера обеспечивает импорт технологий из дружественных стран (AMVAJE ABI – производитель аналогов контроллеров Emerson и Siemens; AMNPAJOON – система обнаружения угроз кибератак для промышленных систем контроля Yokogawa).

Реализованные проекты членами Центра:

- технологии глубинной нефтегазовой телеметрии;
- обучающие тренажеры;
- цифровые двойники;
- система контроля строительства с использованием смешанной реальности (ТИМ-надзор);
- корпоративные площадки по менеджменту идей работников с реализацией лучших цифровых проектов (корпоративные ИТ-марафоны);
- разработка мобильных приложений и систем контроля топлива.

Центр нефтегазового кластера реализует цифровые решения на всех уровнях корпорации: поиск сторонних решений, разработка решений с нуля либо поиск продуктовых команд внутри организации.

При этом риски за реализацию проектов берет не отдельно взятая компания, а государственное учреждение. В случае возникающих сложностей в реализации намеченных дорожных карт ГАУ «ИТ-парк» в качестве проектного офиса несет издержки по замене подрядной организации.

Отличительной особенностью работы кластера является не просто работа с технологическими вызовами корпораций, а определение основных реализуемых проектов и поиск пути их реализации.



## Перспективная продукция ОМК для применения на объектах ГТС ПАО «Газпром»

*А.Ю. Кузьмичева*  
(АО «ОМК»)

1. Компания «ОМК» и Выксунский металлургический завод вот уже более 30 лет прилагают серьезные и стабильные усилия для обеспечения проектов по развитию газотранспортной сети качественной и надежной трубной продукцией.

Большинство российских и экспортных трубопроводов построены с применением труб «ОМК» большого диаметра.

Высокий уровень культуры производства на заводах «ОМК» и современный уровень применяемых технологий при реализации проектов ПАО «Газпром» нацелены на обеспечение безопасной эксплуатации газотранспортной сети.

В 2022 г. в присутствии Председателя Правления ПАО «Газпром» подписана обновленная программа научно-технического сотрудничества АО «ОМК» и ПАО «Газпром». В рамках реализации указанной программы освоена технология производства новых видов трубной продукции, готовая к применению при строительстве и плановых ремонтах газотранспортной сети.

2. Для строительства трубопроводов на рабочее давление 14,7 МПа «ОМК» готово предложить трубы класса прочности K70 производства АО «ВМЗ» и СДТ производства АО «Трубодеталь».

В марте 2023 г. трубы АО «ВМЗ» класса прочности K70 1420×26,3 мм успешно прошли натурные гидравлические и пневматические полигонные испытания ПАО «Газпром», подтверждена конструкционная прочность и стойкость к протяженному разрушению трубопровода.

Ведется освоение технологии производства СДТ класса прочности K65.

Ведется работа по оценке свариваемости различных сочетаний материалов по химическому составу и классам прочности (K65/K65; K70/K80; K65/K80).

3. Для строительства трубопроводов, пролегающих через зоны активных тектонических разломов, «ОМК» готово предложить трубы класса прочности K65 с повышенной деформационной способностью.

В 2021 г. успешно пройдены натурные гидравлические и пневматические испытания ПАО «Газпром», подтверждена конструкционная прочность и стойкость к протяженному разрушению трубопровода.

4. Для транспортировки газа с повышенным содержанием сероводорода и других агрессивных сред ОМК готово предложить трубы и СДТ из плакированного проката собственного производства.

В 2022 г. «ОМК» стал первым в России и Европе производителем плакированной трубы и соединительных деталей с полной цепочкой производства: биметаллический пакет – плакированный лист – плакированная труба – соединительные детали.

В 2022 г. с участием ООО «Газпром ВНИИГАЗ» изготовлены опытные партии труб и отводов для монтажа опытного биметаллического участка трубопровода на объекте ООО «Газпром добыча Оренбург».

Опытный участок успешно запущен в эксплуатацию в июне 2022 г.

5. В рамках реализации научно-технического сотрудничества ПАО «Газпром» и АО «ОМК» на Выксунском заводе готовится запуск в эксплуатацию трубопрокатный цех.

Планируется производство бесшовных линейных, обсадных и насосно-компрессорных труб с наружным диаметром от 73 до 273 мм в наиболее востребованных исполнениях и классах прочности.

## **Наружное покрытие деталей трубопровода на основе порошковой полиэтиленовой композиции «КОУТМЕТ АФМ»**

*М.В. Анисимов, А.Ю. Верхотурова  
(АО «МЕТАКЛЭЙ»)*

Композиция полиэтиленовая антикоррозионная «КОУТМЕТ АФМ» предназначена для нанесения наружного защитного покрытия на соединительные детали, изгибы и фитинги трубопроводов в заводских условиях и для нанесения в трассовых условиях для защиты зоны сварного кольцевого соединения труб.

Композиция полиэтиленовая антикоррозионная «КОУТМЕТ АФМ» для нанесения покрытия представляет собой порошок на основе полиэтилена.

Производство «КОУТМЕТ АФМ» организовано в АО «МЕТАКЛЭЙ».

При нанесении наружного защитного покрытия на основе порошковой полиэтиленовой композиции «КОУТМЕТ АФМ» применяются методы пневмораспыления и газопламенного нанесения.

Для нанесения покрытий на изделия в заводских условиях используется технология последовательного нанесения трехслойного покрытия.

Формируемое наружное покрытие соединительных деталей аналогично трехслойному покрытию линейных труб и соответствует 3 классу нормального исполнения по СТО Газпром 2-2.3-130-2007 с изменениями 1, 2, 3.

Толщина нанесения «КОУТМЕТ АФМ» может варьироваться от 0,1 до 10 мм.

Покрытия на основе материала «КОУТМЕТ АФМ» устойчивы к воздействию максимального количества агрессивных сред.

Адгезионная прочность полиэтиленового покрытия на основе материала «КОУТМЕТ АФМ» сопоставима с трехслойным заводским полиэтиленовым покрытием линейных труб.

Покрытие на основе «КОУТМЕТ АФМ» ремонтпригодно.

В июле 2020 г. на производственной площадке ООО «ТЗИТ» произведено нанесение покрытия на гнутые отводы. В рамках опытно-промышленных испытаний отвод врезан в действующий газопровод Лазаревское – Сочи в 2020 г. После года эксплуатации в 2021 г. проведена оценка состояния покрытия специалистами ПАО «Газпром», ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ООО «Газпром трансгаз Краснодар» с положительными результатами.

Совместно с ООО «ТЗИТ» разработаны ТУ 24.20.40-034-09426835-2021 «Соединительные детали магистральных и промысловых трубопроводов стальные с наружным защитным покрытием».

Компактность и мобильность оборудования для нанесения покрытия позволяет проводить работы в трассовых условиях непосредственно на трубопроводе.

Для нанесения покрытия на зону сварного соединения в трассовых условиях используется технология последовательного нанесения трехслойного покрытия.

Результаты проведенных работ по нанесению и эксплуатации наружного напыляемого защитного покрытия «КОУТМЕТ АФМ» на объектах ПАО «Газпром» использованы при разработке ГОСТ Р 9.404-2022 «Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия защитные органические. Системы покрытий на основе композиций порошкового полиэтилена. Общие технические условия».

ГОСТ Р 9.404-2022 предъявляет требования к покрытию стальных и железобетонных поверхностей заводского, трассового и ремонтного нанесения для подземной и надземной эксплуатации.

Проведены технологические испытания по нанесению наружного защитного покрытия на основе порошковой полиэтиленовой композиции «КОУТМЕТ АФМ» для кольцевых сварных соединений трубопроводов, нанесенного газопламенным напылением в трассовых условиях в рамках демонстрационных испытаний (Полигон, Ленинградская обл., 2022 г.).

Время нанесения покрытия с учетом предварительной подготовки стальной поверхности зоны сварного стыка трубопровода диаметром 720 мм составляет 20 мин. Качество изоляции стыка соответствует ГОСТ Р 9.404-2022.

Проведены контрольные, технологические (приемочные) испытания нанесения и свойств наружного антикоррозионного покрытия «КОУТМЕТ АФМ» на соединительных деталях трубопровода и трубах с применением ручного и автоматического оборудования с участием специалистов ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

По поручению ПАО «Газпром» в 2023 году запланированы опытно-промышленные испытания антикоррозионной защиты сварного стыка в трассовых условиях.

## **Защитные покрытия «ЗУБ-Композит». Обзор технических решений и опыта применения**

*А.П. Свечкопалов, А.В. Плавин  
(ООО «БТ СВАП»)*

С 2015 г. ООО «БТ СВАП» в тесном сотрудничестве со специалистами ООО «Газпром ВНИИГАЗ» провели работу по разработке, внедрению промышленного производства труб с защитными покрытиями «ЗУБ-Композит».

Назначение покрытия «ЗУБ-Композит» – надежная гарантированная защита изоляции и стали трубопровода от механических повреждений при сооружении в сложных грунтовых условиях с применением траншейных и бестраншейных методов строительства, а также защита изоляции трубопровода под кольцевыми утяжелителями при сооружении подводных переходов методом ПТР.

Отличительной особенностью конструкции защитного покрытия «ЗУБ-Композит» является уникальное сочетание высоких показателей прочности (высший класс прочности – VI) и сгибаемости конструкции (обеспечение нормативного радиуса упругого изгиба  $1000 D_{тр}$ ). Серия комплексных испытаний покрытия «ЗУБ-Композит», проведенных под контролем ООО «Газпром ВНИИГАЗ», подтвердила полное соответствие всем требованиям ПАО «Газпром» к данному виду покрытий.

В 2022 г. ООО «БТ СВАП» разработал новую усиленную защиту стыковых соединений труб с покрытием «ЗУБ-Композит». В марте 2023 г. с участием специалистов ООО «Газпром ВНИИГАЗ» успешно завершились натурные стендовые испытания новой конструкции защиты стыка.

В настоящее время данный вид продукции прошел широкую апробацию на проектах ПАО «Газпром». Имеется успешный практический опыт применения, в частности при сооружении в сложных грунтах бестраншейных переходов методами ГНБ/ННБ, Direct Pipe, бурошnek. В 2023 г. АО «Белтрубопроводстрой» успешно в рамках проекта «Южный поток» завершило сооружение протяженного (950 м) подводного перехода с применением труб DN 1400 мм с защитным покрытием «ЗУБ-Композит».

Конструкция защитного покрытия «ЗУБ-Композит» является адаптируемой и позволяет создавать новые модификации защитных покрытий с различными свойствами и характеристиками. Работы по созданию таких новых модификаций продолжается с участием специалистов ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

## **СЕКЦИОННЫЕ ЗАСЕДАНИЯ**

## **СЕКЦИЯ А ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГТС**

### **Разработка критериев местной устойчивости трубопровода при действии сжатия, изгиба и локальных поперечных усилий**

*О.В. Трифонов, В.П. Черний, А.В. Рассохина, В.Н. Зеликов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Местная потеря устойчивости стенки трубопровода является одним из видов предельного состояния трубопровода, которое выражается в потере формы поперечного сечения в зоне действия сжимающих напряжений. Местная потеря устойчивости может возникать в форме гофрообразования при действии осевых сжимающих напряжений или в форме одно-сторонней складки при комбинации осевых и изгибных нагрузок.

Проектирование подземного магистрального трубопровода на участках с возможными подвижками грунта должно включать расчет на местную устойчивость стенки трубы при предполагаемых воздействиях. В то же время приведенные в нормативной документации и научно-технической литературе критерии для критических деформаций при местной потере устойчивости существенно различаются между собой и не в полной мере согласуются с экспериментальными данными. Кроме того, имеющиеся критерии не разделены по виду воздействия (сжатие, изгиб, комбинированное нагружение) и не учитывают особенности развития предельного состояния в каждом из этих случаев.

В представленной статье анализируются имеющиеся критерии местной устойчивости формы поперечного сечения стальных цилиндрических оболочек, применяемых при расчетах на местную устойчивость магистральных трубопроводов. Выполнено численное моделирование местной потери устойчивости при изгибе, сжатии и комбинированном нагружении для широкого диапазона параметров труб. Проведено сопоставление критических деформаций, полученных в результате численного моделирования, с критическими деформациями по критериям местной устойчивости. На основе обработки полученных результатов сформулированы уточненные критерии местной устойчивости стенки труб при действии сжатия, изгиба и локальных поперечных усилий.

## Малотоннажное производство СПГ на объектах ГТС

*В.Ю. Семенов*  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

Особенность российской газотранспортной системы – это большое количество газораспределительных станций (около 4000), на которых срабатывается перепад давлений между магистральным и распределительным газопроводами, что предопределяет возможность производства СПГ без прямых затрат электроэнергии. Кроме того, минимальное количество требуемого оборудования (используется один турбодетандерно-компрессорный агрегат в блоке с теплообменными аппаратами) делает эту технологию привлекательной с точки зрения получения СПГ с минимальной себестоимостью. Однако сезонные колебания расхода и перепада давления приводят к тому, что только 95 ГРС технически пригодны для реализации данной технологии, суммарный потенциал производства СПГ на которых составляет 2,8 млн т в год.

Дальнейшее совершенствование этой технологии возможно за счет совершенствования турбодетандерно-компрессорных агрегатов (использование магнитных опор, электрогенераторов с последующей утилизацией энергии, работающих в условиях двухфазной среды, создание более простых, надежных и эффективных расширительных машин).

Другое направление повышения эффективности технологии производства СПГ на ГРС – это совершенствование газоподготовки (системы осушки и очистки газа), адаптация ее к возможным изменениям состава газа и уменьшение стоимости.

Еще на 180 ГРС оказывается возможным производить СПГ с использованием как перепада давлений (в зимний период), так и подводом энергии от внешних источников (в летний период). Например, используя внешний азотный цикл с двумя турбодетандерами на различных температурных уровнях и промежуточным охлаждением или к модернизированному каскадному циклу (патент ВНИИГАЗ RU 2645095). Технология малотоннажного производства СПГ на ГРС может быть реализована на базе отечественного оборудования.



## Актуальные проблемы планирования развития ГТС

*Н.М. Сторонский, Р.В. Самойлов, М.Г. Сухарев, И.В. Тверской  
(АО «Газпром промгаз»)*

Развитие газотранспортной системы (ГТС) обеспечивает прогресс энергетики России, создает условия для поэтапного завершения газификации страны.

Проблемы планирования развития ГТС характеризуются:

- текущим техническим состоянием объектов, определяющимся долгим сроком эксплуатации;
- нарушением зон минимально допустимых расстояний, снижающим проектные показатели объектов ГТС;
- истощением запасов базовых центров газодобычи и исчерпанием локальных месторождений, что требует изменения схем поставки газа потребителям;
- несбалансированностью социально-экономического развития регионов с техническими возможностями ГТС по обеспечению требуемой и прогнозной потребности в газе.

При планировании развития ГТС требуется обоснованное решение следующих задач:

- прогноз динамики годового, сезонного и пикового спроса на газ существующих и перспективных потребителей;
- оценка текущих резервов и выявление узких мест ГТС;
- разработка и калибровка по фактическим режимам расчетно-технологических моделей транспортировки газа;
- моделирование перспективных потоков на рассматриваемый горизонт планирования с учетом динамики технического состояния объектов.

АО «Газпром промгаз» регулярно актуализирует генеральные схемы газоснабжения и газификации субъектов РФ. В рамках этих работ Обществом сформирован научно-методический подход к обоснованию перспектив развития ГТС.

В докладе обсуждаются основные положения этого подхода и практика его применения в решении указанных выше задач, в частности в предынвестиционных исследованиях по развитию территориальных ГТС: Юг России (14 регионов), Западная Сибирь (7 регионов), Северо-Запад (8 регионов).

## **Методика расчетного обоснования коэффициента надежности по материалу**

*В.М. Силкин, А.Б. Арабей, О.В. Трифонов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
Н.Б. Нестеров (ПАО «Газпром»)*

В настоящее время нормативные значения коэффициента надежности по материалу (КНМ) представлены в нормативных документах федерального уровня в виде дискретного ряда числовых значений, каждое из которых соответствует своей совокупности качественных характеристик группы труб, однородной по конструкции. Применяемые сейчас нормативные значения КНМ были определены в нормативных документах более сорока лет назад с учетом технологического уровня производства стали и труб, достигнутого на тот момент. За прошедший период совершен переход к новому технологическому укладу при производстве труб, что привело к существенному повышению качества труб. Однако консервативные подходы при выборе КНМ, применяемые до настоящего времени, не позволяют учитывать при обосновании толщины стенки труб достигнутый прогресс в металлургии и трубной промышленности.

В докладе рассмотрен подход к обоснованию уточненного нормативного значения коэффициента надежности по материалу, основанный на сравнении количественных показателей способности труб, обладающих допустимыми по СНиП (СП) минимальными (труба-прототип) и более высокими свойствами (труба-аналог), противостоять повреждающим факторам, возникающим при строительстве и эксплуатации трубопровода.

Совокупность указанных количественных характеристических показателей (ХП) объединена в понятие «техническая эффективность труб», а индивидуальные особенности труб – в понятие «профили технической эффективности» (ПТЭ). Оценка значений ХП, учитываемых в составе ПТЭ, получают по результатам лабораторных, модельных или натуральных испытаний и/или расчетов, выполненных на основе расчетных моделей и критериев, применяемых для этих целей на этапах проектирования, строительства и эксплуатации с использованием стандартного (прототип) и индивидуального набора свойств (аналог).

Допустимое минимальное значение коэффициента надежности по материалу определяют из условия превышения или, как минимум, равенства ХП трубы-аналога и аналогичных показателей трубы-прототипа.

**Оценка возможности использования существующей  
газотранспортной системы ПАО «Газпром»  
для транспортировки и хранения водородсодержащего газа  
(в части анализа режимно-технологических параметров  
работы оборудования)**

*Д.М. Ляпичев, Д.Е. Матюха, С.Ю. Сальников, Е.А. Черникова  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Одной из задач Концепции развития водородной энергетики Российской Федерации является использование существующей инфраструктуры транспортировки, хранения и распределения природного газа.

Эти проблемы изучаются специалистами разного профиля, начиная от разработчиков национальных программ трансформации газотранспортных систем (ГТС) до создателей конкретного газотурбинного и компрессорного оборудования. При этом наблюдается определенная противоречивость в количественных результатах оценок, связанная как с различием методических подходов, так и с характеристиками разных типов оборудования.

В докладе рассматривается возможность транспортировки водородсодержащих газов (ВСГ) с разным содержанием водорода (от 0 до 100 %) по существующим ГТС при действующих нормативных технологических ограничениях параметров магистральных газопроводов (МГ), также анализируются области допустимых режимов газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом.

Актуальная нормативно-техническая база для технологического проектирования МГ не предусматривает наличие водорода в составе природного газа.

В работе приведены результаты расчета параметров транспортировки по магистральному газопроводу ВСГ с различным содержанием водорода (H<sub>2</sub>).

Проведена оценка возможности использования газокompрессорного оборудования для транспортировки ВСГ в двух аспектах:

- изменение характеристик центробежного компрессора при пересчете на параметры ВСГ;
- использование ВСГ в качестве топлива для приводных газотурбинных двигателей.

По результатам проведенных работ можно оценить возможность транспортировки ВСГ по действующим МГ без существенных мероприятий в пределах 10...20 % содержания H<sub>2</sub> в составе смеси. При этом показатели МГ изменяются (по сравнению с природным газом) на приемлемом уровне: для варианта 10 % H<sub>2</sub> пропускная способность практически не изменяется, привод разгружается до 91 % (сохраняется условие нормативного уровня частоты вращения), поток транспортируемой энергии уменьшается до 93 %.

## **Разработка методики численного моделирования виброакустических характеристик морских трубопроводных систем**

*Т.И. Лаптева, М.Н. Мансуров, Л.А. Копаева, С.В. Ганага  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Для реализации планов нефтегазовых компаний по строительству новых морских трубопроводных систем необходимо обеспечивать их надежность и экологическую безопасность. Среди факторов, влияющих на их безопасность эксплуатации, можно выделить вибрации, приводящие к нарушению изоляционных покрытий, коррозионному растрескиванию, усталостному разрушению тела труб. Поэтому следует уделять особое внимание динамической устойчивости морских трубопроводных систем, особенно при транспортировке многофазных потоков, что требует тщательного контроля, мониторинга, анализа и управления из-за возникновения пульсации давления и возбуждения вследствие этого параметрических колебаний морского трубопровода.

Доклад посвящен исследованиям алгоритмов расчета динамических процессов в морских трубопроводах для обеспечения их работоспособности за счет снижения действующих в них виброакустических нагрузок (вибрационные нагрузки, колебания давления и расхода рабочей жидкости). Сформулированы рекомендации по устранению параметрических колебаний морских трубопроводных систем.

## **Практический опыт использования технологий информационного моделирования в проектной деятельности**

*Э.А. Яковлев*  
(ООО «Газпром проектирование»)

В докладе освещаются процесс и последовательные действия перехода проектной организации от классического проектирования с использованием систем автоматизированного проектирования выпуска двухмерной документации (чертежи графической части) к разработке и дальнейшему использованию информационной модели объекта капитального строительства в качестве основного источника формируемых данных. Особенностью данного доклада является внедрение единых процессов информационного моделирования при географической удаленности крупных филиалов организации.

Затрагиваются темы как готовности методологической базы для перехода на информационное моделирование, так и необходимые шаги и действия, которые выполняются в настоящий момент для единства представления проектной продукции и получения качественного итогового результата, который дальше будет развиваться при выполнении авторского надзора, строительного-монтажных и пуско-наладочных работ на объекте.

## **Возможность применения транспортной инфраструктуры для поставки водорода и метано-водородных смесей**

*В.Е. Столяров, Н.А. Еремин, Е.А. Сафарова, Д.С. Филиппова  
(ИПНГ РАН)*

В настоящее время в стране реализуется план мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года», создан консорциум по развитию водородных технологий «Технологическая водородная долина».

Обязательным условием расширения производства метано-водородных смесей является наличие избыточной генерации энергии (атомная, гидроэнергетика, возобновляемая), создание избыточных объемов природного газа, а также сеть хранения водорода и его смесей. Прогнозируемый рост потребления предполагает развитие также технологий поставки для аэрокосмической, транспортной отрасли, энергетики и электроники.

Широкое применение метано-водородных смесей приведет к качественно новым показателям в работе энергетических систем и агрегатов. У нефтегазовой отрасли существует участок единых интересов при диверсификации в виде территориально протяженной единой газотранспортной системы. При отсутствии фактических данных о степени воздействия газа на трубопроводы высокого и среднего давления и тем более на хранилища, созданные в пористых средах на ПХГ, представляется логичным ограничить в настоящее время использование водорода в промышленных объемах через транспортную систему, несмотря на то, что в европейских странах и США хранение и транспортировка водорода и биогаза совместно с метаном стали реальностью.

В литературе рассматривается несколько вариантов транспортировки водорода и смесей: по существующей газотранспортной системе без ограничений; по специально построенным магистральным трубопроводам, а также по имеющейся транспортной системе в режиме последовательной перекачки. Каждый из вариантов имеет свои преимущества и определенные недостатки с точки зрения надежности и получения экономических интересов в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

Результаты исследований требуют оформления в виде стандартов, чтобы гарантировать безопасную и экономичную работу без нанесения вреда национальной и мировой экологической и технической транспортной инфраструктуре.

## **Современные технические решения в проектировании компрессорных станций и пути их реализации. Предложения ООО «Газпром трансгаз Ухта»**

*С.П. Кордюков (ООО «Газпром трансгаз Ухта»)*

Реализация современных технических решений в рамках нового строительства, капитального ремонта и реконструкции объектов компрессорных станций является важным и крайне необходимым способом обеспечения энергоэффективности и безопасности объекта.

Современные технические решения сочетают в себе:

- многолетний опыт эксплуатации основного и вспомогательного оборудования компрессорных станций;
- современные тенденции в области технологического оборудования компрессорных станций;
- оптимизацию организационно-технологических процессов при эксплуатации оборудования компрессорных станций;
- подходы, направленные на единообразие и унификацию облика компрессорных станций.

Современные технические решения разработаны ООО «Газпром трансгаз Ухта».

Технические решения внедряются в рамках реконструкции компрессорных цехов в зоне эксплуатационной ответственности ООО «Газпром трансгаз Ухта».

Также технические решения подаются для включения в инвестиционные проекты ПАО «Газпром», такие как «Система магистральных газопроводов Бованенково-Ухта. III нитка» и «Система магистральных газопроводов Ухта-Торжок. III нитка (Ямал)».

За счет внедрения технических решений достигается:

- снижение количества незадействованного оборудования в технологическом процессе транспорта газа;
- оптимизация процессов эксплуатации основного и вспомогательного оборудования;
- унификация облика компрессорных станций;
- удобство и простота в обслуживании оборудования;
- повышение энергоэффективности и топливной экономичности компрессорных станций в целом.

## **Технико-технологические аспекты проблемы раздельной транспортировки этансодержащего газа месторождений Надым-Пур-Тазовского региона до газоперерабатывающих производственных объектов**

*Д.М. Ляпичев, Д.Е. Матюха, С.Ю. Сальников  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

«Глубокая переработка природного газа – это максимально эффективный путь использования потенциала огромных запасов этансодержащего газа в России», – заявил Председатель Правления ПАО «Газпром» А.Б. Миллер.

ООО «Газпром ВНИИГАЗ» принимал участие в ряде предпроектных исследований по организации сбора и транспортировки этансодержащего газа (ЭСГ) Надым-Пур-Тазовского региона по выделенному газопроводу до мест размещения газоперерабатывающих производств.

Основные принципы, закладываемые в проекты:

1. Поставка ЭСГ по выделенному газопроводу при сохранении гидравлического режима транспорта «метанового» газа.
2. Обеспечение поставок ЭСГ 11 месяцев в году.
3. Полная загрузка выделенного под транспортировку ЭСГ трубопровода.
4. Обеспечение перспективных потоков газа для обеспечения внутреннего газопотребления и требуемых объемов экспорта газа.

Базовые требования к системе транспортировки ЭСГ:

- стабильность параметров и свойств газа в пунктах приема-передачи;
- системная надежность;
- технико-технологические решения для нештатных ситуаций;
- максимальное использование существующей инфраструктуры.

На первом этапе работы выполняется анализ фактического технического состояния линейной части, газоперекачивающего, вспомогательного оборудования и технологических трубопроводов компрессорных станций.

На втором этапе производится прогнозная оценка объемов нового строительства, реконструкции, диагностики и капитального ремонта указанных объектов магистральных газопроводов. Для выполнения типовых расчетов разработаны общие методические подходы к проведению подобных работ.

На третьем этапе выполняются гидравлические расчеты технической возможной пропускной способности и технической возможной производительности участков газотранспортной системы с выделенными нитками для транспортировки ЭСГ с учетом проведения плановых и внеплановых ремонтных работ, планово-предупредительных ремонтов, аварийных и внештатных ситуаций.

Для обеспечения перспективных объемов поставки ЭСГ, при сохранении гидравлического режима транспорта «метанового» газа, разработаны общие технико-технологические решения по реконструкции, техническому перевооружению и ремонту объектов газотранспортной системы.



# **Разработка мобильной телеуправляемой робототехнической плавучей платформы для осуществления диагностики технического состояния подводного перехода магистрального газопровода**

*С.В. Романов, Н.С. Муллин  
(ООО «Газпром трансгаз Казань»)*

1. Направление НИОКР, актуальность разработки.

Технологии контроля технического состояния и дистанционного коррозионного мониторинга трубопроводных систем. Недостатки существующих методов. Применение мобильной телеуправляемой робототехнической плавучей платформы (МТРПП) в качестве замены приборно-водолазного обследования. Преимущества МТРПП.

2. Область применения, масштаб использования результатов НИОКР.

Внедрение результатов НИОКР планируется в ООО «Газпром трансгаз Казань» (далее – Общество) для проведения диагностических обследований ПП МГ через реки Волгу, Каму, Вятку, Свиягу и др., а также через их устья и притоки.

По результатам НИОКР, в случае принятия ПАО «Газпром» соответствующего решения, разработанная МТРПП может быть использована в других газотранспортных дочерних обществах ПАО «Газпром».

3. Новизна и научно-технический уровень НИОКР.

Новизна НИОКР заключается в разработке многофункциональной робототехнической платформы с набором автоматических режимов работы и программным модулем, запоминающим тип акватории и позволяющим оценить характеристики подводного перехода при проведении комплекса диагностических обследований ПП МГ, исключая необходимость задействования дополнительной приборной и водолазной поддержки.

4. Технические требования, предъявляемые к МТРПП.

Разрабатываемая робототехническая платформа в соответствии с требованиями СТО Газпром 2-2.3-954 должна пройти процедуру оценки готовности к выполнению работ по диагностике объектов транспорта газа ПАО «Газпром» и иметь необходимые сертификаты на применение технических устройств (приборов) и оборудования на опасных производственных объектах.

5. Основные функции, выполняемые МТРПП.

МТРПП должна предусматривать работу следующих систем:

- детектирование положения газопровода и пригрузов на оголенных и провисающих участках;
- детектирование дефектов и повреждений изоляционного покрытия;
- оценка наличия утечек транспортируемого продукта;
- построение карты дна акватории.

#### 6. Основные технические решения МТРПП.

МТРПП состоит из надводного и подводного модулей, а также комплекса диагностического оборудования, позволяющего производить комплексное обследование подводных переходов ЛЧ МГ.

#### 7. Планируемые результаты и эффективность разработки.

Изготовление опытного образца мобильной телеуправляемой робототехнической плавучей платформы.

Механизмом появления экономического эффекта от использования результатов НИОКР является снижение материальных, энергетических затрат и затрат «живого труда» за счет:

- использования новой технологии и технологического процесса осмотра ПП МГ, а также импортозамещающих материалов и оборудования;
- снижения затрат на диагностику, контроль эффективности защиты и обследования состояния ПП МГ.

## **Принципы ранжирования, выбора и обоснования компенсирующих мероприятий для участков магистральных газопроводов с отступлениями от требований по минимальным расстояниям**

*О.В. Трифонов, С.В. Овчаров (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
А.Н. Виденеев (ПАО «Газпром»)*

В рамках действующей и перспективной законодательной и нормативной базы одним из основных механизмов устранения нарушений по минимальным расстояниям от магистральных газопроводов до объектов третьих лиц является обоснование размещения данных зданий и сооружений на фактически имеющихся расстояниях с разработкой комплекса компенсирующих мероприятий. Важным фактором, определяющим эффективность реализации данного механизма, является оптимальный выбор состава мероприятий, позволяющих обеспечить требуемый уровень безопасности при минимальных затратах на их реализацию на стадии строительства и последующей эксплуатации объекта транспорта газа.

Для разработки принципов ранжирования, выбора и обоснования компенсирующих мероприятий выполнена классификация отступлений по ключевым признакам, классификация компенсирующих мероприятий по группам (конструктивные технические решения, требования к материалам и изделиям, требования к выполнению работ, контролю и испытаниям, организационно-технические мероприятия). Мероприятия в пределах групп ранжированы на основе их влияния на безопасность (блоки мероприятий).

Совокупность мероприятий, принятых для компенсации отступления с определенным набором классификационных признаков («решение»), формируется из блоков по каждой группе мероприятий. Выбор решений основан на принципе достаточности принятого состава мероприятий для обеспечения требуемого уровня безопасности. Достаточность «решения» определяется из условия не превышения фактическим риском аварий на объектах сближения, который зависит от состава классификационных признаков нарушения и принятой совокупности компенсирующих мероприятий, допустимого индивидуального риска.

## **Опыт применения импортозамещающих фильтрующих элементов ЭФП и ЭФВП для очистки природного и попутного газов**

*В.В. Снежков*  
(ООО «ЛАРТА Текнолоджи»)

В настоящее время в связи с введением новых требований к эффективности устройств подготовки газа на компрессорных станциях имеется необходимость в оснащении компрессорных станций современными отечественными высокоэффективными средствами очистки природного газа. Фильтрующие элементы, производимые ГК «ЛАРТА» на основе современных фильтровальных материалов, обладают низким гидравлическим сопротивлением, высокой эффективностью очистки и большой грязеемкостью. Отличительной особенностью, повышающей эффективность фильтрации, является собственное производство фильтрующих объемных нетканых материалов и использование в конструкции супергидрофобного слоя из волокнисто-пористого фторопластового материала. Преимуществом фильтроэлементов является эффективное удаление субмикронных частиц, низкое газодинамическое сопротивление. высокая эффективность работы в широком диапазоне расхода очищаемого газа.

В сложившейся ситуации уделяется особое внимание проблеме импортозамещения: освоено производство отечественных аналогов фильтроэлементов основных зарубежных производителей. По результатам опытно-промышленных испытаний и эксплуатации 88 наименований продукции компании внесены в Реестр инновационной продукции и рекомендованы к применению на объектах ПАО «Газпром». Фильтрующие элементы ЭФП – аналоги фильтроэлементов Pall – успешно прошли опытно-промышленную эксплуатацию в фильтрах-сепараторах на компрессорных станциях «Казачья» и «Русская» «Краснодарская», «Байдарацкая». Специалистами Экспертно-технического центра ЦКБН было проведено измерение уноса капельной жидкости газовым потоком на выходе из фильтра-сепаратора. По результатам выполненных замеров определено, что на выходе из аппарата обнаруживаются только «следы» жидкости, т.е. практически отсутствие.

В ходе опытно-промышленных испытаний фильтрующие элементы производства ГК «ЛАРТА» продемонстрировали свое соответствие требованиям актуальных стандартов отрасли и показатели ресурса работы, превышающие значения импортных аналогов.

## **Методы оценки эксплуатационных свойств смазочных масел, разработанные в ООО «Газпром ВНИИГАЗ»**

*С.Ю. Поляков, В.К. Фадеев  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Для решения основной задачи химмотологии – обоснование оптимальных требований к качеству и составу горюче-смазочных материалов, обеспечивающих надежную, экономичную и экологически безопасную работу техники с учетом особенности ее конструкции и условий эксплуатации – необходимо совершенствовать и развивать методы оценки эксплуатационных свойств смазочных материалов.

Лаборатория масел и смазочных материалов постоянно разрабатывает новые методы оценки эксплуатационных свойств смазочных масел и гидравлических жидкостей применительно к специфике эксплуатации оборудования ПАО «Газпром».

Ключевые методы, разработанные в данном направлении.

1. Эксплуатационные свойства масел на аппарате «Папок». Метод позволяет в комплексе оценивать физические и химические процессы, происходящие в маслах при их термодеструкции.

2. Склонность масел к образованию высокотемпературных отложений (ВТО) на аппарате «Папок». Метод использует суммарный показатель, оценивающий ВТО в виде лака и нерастворимого осадка в масле.

3. Склонность масел к образованию ВТО на установке «Наклонная плита». Метод позволяет исследовать вид и количество отложений на горячих поверхностях в зависимости от температуры.

4. Физическая стабильность турбинных масел. Метод позволяет оценить стабильность присадок в составе масла и предотвратить забивку фильтроэлементов при эксплуатации.

5. Воздействие промывочных жидкостей для проточной части ГТД на легкосрабатываемые покрытия.

6. Деаэрирующие свойства масел и гидравлических жидкостей. Метод оценивает стабильность испытуемых жидкостей к образованию воздушно-масляных эмульсий.

Разработанные методы активно внедряются в практику испытаний смазочных материалов. Методы запатентованы, стандартизированы. На разработанные установки имеется конструкторская документация, и они могут быть тиражированы. Дальнейшие исследования направлены как на разработку методов оценки эксплуатационных свойств смазочных масел для ГПА, так и на промывочные жидкости для проточной части ГТД и уплотнительные пасты для трубопроводной арматуры.

## СЕКЦИЯ Б СТРОИТЕЛЬСТВО ГТС

### **Изменение механических свойств металла труб магистральных газопроводов под воздействием газообразного водорода при высоком давлении**

*С.Ю. Настич, В.А. Лопаткин, А.Б. Арабей,  
В.А. Егоров (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
А.С. Попков (ПАО «Газпром»)*

Оценка возможности использования существующих магистральных газопроводов (МГ) для транспортировки метановодородных смесей (МВС) является одним из вопросов в рамках построения низкоуглеродной энергетики. Ферритные низколегированные стали для труб МГ потенциально склонны к водородному охрупчиванию (ВО), в том числе в результате насыщения металла труб водородом из газовой фазы.

В результате анализа литературных источников по данной проблеме получено, что эффект ВО для металла труб категорий прочности Х52–Х100 (классов прочности К50–К80) может состоять в снижении показателей пластичности и трещиностойкости на 20–60 %, а также в повышении скорости роста трещины на порядок. Эффект ВО усиливается с повышением давления водорода и увеличением концентрации водорода в смеси.

Проведены испытания металла труб класса прочности К60 (Х70) с разным структурным состоянием (изготовленных в 1980-х гг. и современных) по методу растяжения с медленной скоростью (SSRT) на цилиндрических образцах с острым надрезом после наводороживания в МВС с концентрацией водорода 10 и 30 %, а также в чистом водороде. Стали 10Г2ФБЮ и 07Г2НДБ с полосчатой ферритно-перлитной и дисперсной ферритно-бейнитной структурой, соответственно, в наводороженном состоянии в целом имеют пониженные значения относительного сужения и перемещения захвата машины на участке сосредоточенной деформации. Тип разрушения трубной стали меняется от вязкого ямочного в исходном состоянии к преимущественно хрупкому или смешанному (квазисколом), что сопровождается образованием множественных расщеплений и сколов. Однако снижение показателей пластичности и охрупчивание излома происходят существенно интенсивнее в случае стали с полосчатой ферритно-перлитной структурой по сравнению со сталью с более однородной ферритно-бейнитной структурой.

**Исследования свариваемости высокопрочных сталей  
для строительства трубопроводов на рабочее давление  
14,7 МПа**

*Е.М. Вышемирский (ПАО «Газпром»),  
С.П. Севостьянов, Р.Ю. Муратов, М.В. Образцов, Ю.А. Соловьев  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В докладе представлены результаты исследований кольцевых сварных соединений экспериментальной партии труб DN 1400 мм из сталей классов прочности K70 и K80, выполненных ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.

Представлены направления исследований сварки кольцевых сварных соединений труб DN 1400 из сталей класса прочности K70 и K80, выполненных дуговыми механизированными и автоматическими видами сварки, а также лазерной сваркой и контактной сваркой оплавлением.

Результаты исследований применяются для разработки требований к технологиям сварки и неразрушающего контроля неповоротных кольцевых стыковых соединений магистральных трубопроводов из высокопрочных сталей.

## **Особенности применяемых технологий сварки и неразрушающего контроля на заводах – изготовителях трубной продукции**

*А.Б. Арабей, В.А. Егоров, Р.О. Рамусь  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Одним из ключевых технологических процессов промышленного производства труб, соединительных деталей и других элементов трубопроводов является сварка. Оптимально подобранные заводские технологии, качество исполнения сварных соединений во многом определяют не только эксплуатационную надежность трубопровода, но и являются важными факторами формирования стоимости продукции, а, следовательно, затрат потребителя. Создание новых видов трубной продукции требует постоянного совершенствования и обновления сварочного производства, перехода на новые методы сварки и сварочные материалы.

В докладе рассмотрены особенности организации сварочного производства на заводах – изготовителях трубной продукции для нужд ПАО «Газпром» в зависимости от технологической специфики:

- трубы большого диаметра, в том числе высокодеформируемые, коррозионностойкие плакированные, для высоких температур эксплуатации и др.;
- соединительные детали трубопроводов;
- трубы насосно-компрессорные, обсадные бурильные, в том числе с приварными быстросъемными коннекторами, трубы теплоизолированные насосно-компрессорные и обсадные, предназначенные для добычи газа и газового конденсата;
- другие изделия заводского изготовления для нужд ПАО «Газпром»;
- развитие родственных технологий (аддитивные технологии, электрошлаковая выплавка, методы электродуговой, плазменной и лазерной резки металла).

Обсуждаются перспективы применения новых методов лазерной сварки при производстве трубной продукции.



## **Испытания соединительных деталей трубопроводов сложной конструкции и формирование технических требований к ним**

*М.Г. Глухов, О.В. Трифонов, В.А. Егоров, А.Б. Арабей, М.Р. Рачек,  
С.В. Крестьянников (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
И.В. Бондаренко, Е.Н. Рудометов (ООО «ТМК ТР»),  
Д.В. Нориевский (ООО «ТМК ЭТЕРНО»)*

В настоящее время при строительстве, ремонте и реконструкции таких объектов ПАО «Газпром», как обвязки компрессорных станций (КС), магистральные и промысловые трубопроводы, для выполнения поворотов и перемычек применяют классические соединительные детали, например, тройники, соединяющие трубы под углом до 90°. При проектировании обвязки КС предпочтение отдается универсальности схем, что приводит к наличию дополнительных врезок (штуцеров) и перемычек, установке большого количества отводов и тройников и, как следствие, к дополнительным местным потерям полного давления. Как традиционная, так и блочно-модульная компоновки трубопроводной обвязки предусматривают выполнение поворотов, перемычек и тройниковых соединений под углом 90°, т.е. без учета местных сопротивлений в гидравлических расчетах трубопроводов.

В последнее время в проектах КС все чаще предусматривается модульная схема обвязки ГПА, при которой аппараты очистки и охлаждения газа включены в обвязку каждого газоперекачивающего агрегата. При такой схеме достигается снижение металлоемкости, гидравлических потерь, а также уменьшение занимаемых площадей КС. Однако далеко не все резервы использованы в целях повышения энергоэффективности и экологичности КС. Например, применение тройников с малыми углами расположения ответвления (до 60°) позволяет снизить коэффициент сопротивления в 3 раза.

В протяженных магистральных и промысловых трубопроводах, при значительных скоростях среды местные потери давления (на местные сопротивления), связанные с изменением направления потоков среды, влекут за собой существенные потери давления у потребителей.

Применение нестандартных конструкций соединительных деталей: «косых» тройников, тройников-развилки с плавными отводами, Y-тройников и «отводов-переходов» (далее – СДСК) позволит получить следующие преимущества:

- снижение гидравлических потерь за счет улучшения газодинамических характеристик;
- снижение уровня вибраций и шума на КС.

Настоящая работа посвящена анализу мировой нормативно-технической документации, определяющей технические требования к такому роду изделий, анализу научно-технической литературы и мирового опыта внедрения СДСК, определению основных типов конструктивных исполнений, условий эксплуатации, а также возможности использования СДСК для

объектов ГТС, анализу существующих в мировой практике методик прочностных расчетов различных видов СДСК, анализу напряженно-деформированного состояния СДСК, формированию необходимых исходных данных для прочностного расчета СДСК, разработке алгоритма определения толщины стенки СДСК, разработке требований к изготовлению экспериментальных образцов СДСК, разработке программы и методики испытаний СДСК, проведению исследовательских испытаний экспериментальных образцов СДСК.

В докладе представлены результаты организации работ по формированию технических требований и результаты испытаний СДСК российского производства.

## Новые виды продукции ПАО «Северсталь» для ТЭК

*П.А. Мишнев  
(ПАО «Северсталь»)*

При строительстве объектов топливно-энергетического комплекса особое внимание уделяется не только стоимости капитального строительства, но и совокупной стоимости владения объектом. И это своего рода вызов для заводов-изготовителей, заключающийся в разработке новых уникальных продуктов и технологий, а также предложении наиболее эффективных технических решений.

В рамках реализации Программы научно-технического сотрудничества компаний «Северсталь» и «Газпром» при непосредственном участии «Газпром ВНИИГАЗ» «Северсталь» предлагает новые высокопрочные марки стали, а также специальные защитные покрытия, которые способны снизить металлоемкость объекта, при этом повысив его надежность. Из наиболее ярких примеров стоит отметить трубы большого диаметра и толстолистовой прокат для изготовления соединительных деталей трубопроводов, которые могут быть применены в строительстве газопроводов с рабочим давлением до 14,7 МПа.

В последнее время активно развиваются проекты СПГ и ГХК, где у «Северстали» готовы решения, которые включают комплексное обеспечение продуктами криогенного назначения и возможность привлечения проектной организации для проектирования резервуаров.

Кроме того, предъявляются все более высокие и специфические требования к металлопродукции и готовым изделиям, на что у «Северстали» есть ответ в виде новых продуктов:

- линейка коррозионностойких сталей Cordis для добычи и переработки углеводородов, а также транспортировки сред с высоким содержанием  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ;
- инновационная трубная продукция Deformax, сочетающая в себе комплекс вязко-пластических свойств, что позволяет выдерживать значительные деформационные нагрузки, сохраняя целостность трубопровода, его надежность и безопасность в условиях регионов с повышенной сейсмической активностью;
- трубная продукция с температурами эксплуатации до  $-60$  °С для суровых регионов Севера;
- трубы большого диаметра и металлопрокат для реализации оффшорных проектов.

## **Структура и свойства свариваемой дисперсионно-твердеющей стали легированной медью для соединительных деталей трубопроводов на рабочее давление 14,7 МПа**

*О.Н. Сычев, В.В. Михеев, В.К. Липин, Г.Е. Хадеев  
(АО «Северсталь Менеджмент»),  
А.Б. Арабей (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
М.Ю. Матросов (ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»)*

Проанализирована кинетика и механизм превращения переохлажденного аустенита, в том числе в образцах, имитирующих крупнозернистую структуру околошовной зоны. Рассмотрено влияние режимов термической обработки и термических циклов сварки, воспроизводящих изготовление соединительных деталей трубопроводов, на формирование микроструктуры и механических свойств как основного металла, так и металла околошовной зоны. Исследовано влияние скорости охлаждения после сварки на изменение ударной вязкости образцов, имитирующих структуру околошовной зоны. Сформулировано решение задачи достижения уровней механических свойств соединительных деталей, соответствующих классам прочности К60 без термического улучшения последних и К65 после их термического улучшения в сочетании с удовлетворительной ударной вязкостью стали и свариваемостью.

## **Вопросы снижения рисков повреждения изоляционного покрытия трубопроводов на участках бестраншейной прокладки**

*Р.В. Игошин*  
(ПАО «Газпром»)

Одной из современных мировых тенденций развития технологий трубопроводного строительства является прокладка переходов участков трубопроводов бестраншейными методами.

Основными преимуществами бестраншейных методов является высокая степень механизации, отсутствие необходимости в подводно-технических работах, минимальные сроки строительства (протаскивания).

Однако при этом достижение указанных преимуществ возможно только при условии учета весьма широкого спектра, как правило, взаимосвязанных факторов – результатов инженерно-геологических изысканий, применяемого метода строительства, параметров трубной стали, покрытия и др.

Сложившаяся практика показывает, что всегда существует риск недостаточности принятых к учету данных, и применение бестраншейных методов не всегда позволяет получить беспроблемный (соответствующий всем установленным требованиям) для эксплуатации участок трубопровода.

С целью минимизации рисков повреждения изоляционного покрытия предложен принцип дополнительной защиты в виде упрочнения наружной поверхности трубопровода путем использования специальных (обладающих высокими прочностными характеристиками) покрытий.

Ввиду новизны предложенных технических решений и отсутствия соответствующей нормативной базы проведен широкий комплекс лабораторных, стендовых и натурных эксплуатационных испытаний по определению конструкции специальных покрытий (как основного тела трубы, так и для зоны кольцевого сварного стыка), функциональных требований к прочностным параметрам специальных покрытий и технологии их нанесения.

Установленный высокий уровень эффективности специальных (обладающих высокими прочностными характеристиками) покрытий по сохранению целостности изоляционного покрытия труб при протаскивании позволил включить требование о необходимости реализации таких мер в проект ГОСТ 25812 «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии».

## **Применение сварочной проволоки марки GS600 производства ООО «АЭМЗ» при строительстве газотранспортных систем**

*М.В. Васютин*  
(ООО «АЭМЗ»)

В докладе представлена информация по освоению сквозной технологии производства проволоки сплошного сечения марки GS600 в ООО «АЭМЗ» с результатами по их использованию при сварке магистральных трубопроводов класса прочности до K60.

ООО «Абинский электрометаллургический завод» является высокотехнологичным российским производителем сварочных материалов, использующим современное оборудование последнего поколения на всех этапах производства с полным металлургическим циклом для электрометаллургии: от сталеплавильного и прокатного передела до метизной продукции.

На метизном переделе ООО «АЭМЗ» освоена технология производства сварочной проволоки с омедненной и полированной поверхностью для автоматической и полуавтоматической сварки. Объемы производства сварочной проволоки в настоящее время достигают до 1500 т/мес., а потенциал предприятия позволяет увеличить их до уровня свыше 2000 т/мес.

Сварочная проволока изготавливается на современном оборудовании ведущих производителей, а штат предприятия укомплектован высококвалифицированными специалистами в области производства сварочной проволоки. Сортамент выпускаемого сварочного материала и состояние поставки также отражен в докладе. Показаны технологическое оборудование и методика оценки сварочно-технологических свойств производимой продукции перед отгрузкой.

Представлен подробный анализ полученных результатов квалификационных испытаний проволоки сплошного сечения марки GS600 диаметром 0,9 и 1,0 мм (аналог импортных проволок сплошного сечения ОК Autrod 12.51, K600, Boehler SG3-P, Super Arc L-56 и др.) на трубе  $\varnothing 1220 \times 19$  мм класса прочности K60 с применением технологии автоматической сварки в среде защитных газов неповоротных кольцевых стыковых соединений труб с применением комплексов (оборудования) CRC-Evans AW (способы сварки ААДП, АПГ, МАДП), которые прошли испытания на базе АО «Стройтранснефтегаз» совместно с ООО «Газпром-ВНИИГАЗ», по результатам которых проволока марки GS600 внесена в Перечень № 1 МТР по сварочному производству, соответствующих требованиям ПАО «Газпром», и допущена к применению на объектах «Газпрома» с рабочим давлением среды свыше 1,2 МПа.

## **Практика применения и совершенствование требований нормативной документации к защитным покрытиям трубной продукции**

*Е.В. Петрусенко, А.П. Сазонов, А.Е. Зайцев  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Актуальной задачей повышения надежности трубопроводного транспорта является разработка и совершенствование нормативных требований к защитным покрытиям.

Требования к полиэтиленовым покрытиям труб заводского нанесения нормируются по СТО Газпром 2-2.3-130-2007. С учетом развития технологии нанесения данных покрытий, актуализации методик испытания и требований к качеству в 2023 г. запланирован пересмотр данного документа.

Требования к покрытиям фасонных изделий нормируются по СТО Газпром 9.1-018-2012. Требования данного стандарта нуждаются в доработке по разграничению требований для покрытий жидкого и порошкового нанесения, уточнению ряда положений по порядку проведения опытно-промышленных испытаний продукции.

Задачи совершенствования требований по трассовой изоляции, в том числе СТО Газпром 9.1-016-2012 и СТО Газпром 9.1-017-2012, направлены, в том числе, на повышение уровня механизации при проведении изоляционных работ, использовании индукционного нагрева, автоматизированных установок и пр.

Для прокладки трубопроводов методом наклонно-направленного бурения разрабатываются системы дополнительной защиты антикоррозионных покрытий, требования к которым находятся в стадии накопления опыта их практического применения и экспериментальных данных.

Особенно актуальными в свете проводимой ООО «Газпром ВНИИГАЗ» политики импортозамещения являются задачи исследования и внедрения новых типов покрытий из материалов отечественного производства. Работы по исследованию свойств изоляционных материалов и покрытий проводятся в лаборатории защитных и теплоизоляционных покрытий ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

## **Разрывная машина РМ-600 для испытания полнотолщинных образцов трубной стали**

*А.И. Абакумов, И.И. Сафронов, А.С. Смирнов,  
А.В. Сиренко, С.К. Груздев (РФЯЦ-ВНИИЭФ),  
А.Б. Арабей (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
Н.Б. Нестеров, А.С. Попков (ПАО «Газпром»)*

Для аттестации высокопрочных газопроводных труб их подвергают полномасштабным пневматическим испытаниям на специально оборудованном полигоне в г. Копейске (Челябинская обл.), имитирующим аварийное разрушение газопровода. Такие испытания достаточно громоздки и трудоемки и не во всех случаях позволяют достаточно объективно судить о вязкости стали, достаточной для полной остановки трещины в пределах трех труб.

В качестве адекватной альтернативы лабораторным и дополнением к полигонным испытаниям трубных плетей рассматривается инструментальный метод динамического разрыва крупномасштабных образцов трубного металла с обеспечением в эксперименте скоростей движения трещины, близких к реально наблюдаемым при полигонных испытаниях.

В ПАО «Газпром» для реализации указанного метода в условиях испытаний металла труб магистральных газопроводов разработана и изготовлена разрывная машина РМ-600 для испытания на растяжение плоских полнотолщинных образцов при статическом и динамическом нагружении.

Проведенные испытания на динамический разрыв образцов трубной стали на разрывной машине РМ-600 показали возможность получать результаты, сопоставимые с результатами полигонных испытаний труб. При этом реализуемые условия разрушения образца – скорость распространения трещины, напряженно-деформированное состояние и пластическая зона в окрестности вершины трещины – близки к условиям распространения трещины в трубе магистрального газопровода.



## **Научно-техническое сопровождение прокладки газопровода через р. Мертвицу**

*Ю.А. Маянц, П.В. Голивкин, А.В. Коротков  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В 2020 г. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» было привлечено для решения проблем, возникших при прокладке одной из ниток перехода газопровода через р. Мертвицу.

Специалисты ООО «Газпром ВНИИГАЗ» выполнили научно-техническое сопровождение строительства перехода, в процессе которого был выполнен анализ проблем, необходимые расчеты, разработаны оригинальные технические решения, что стало одним из важнейших факторов, обеспечивших успешную прокладку дюкера.

Во время прокладки дюкера были обнаружены интересные эффекты, которые могут быть использованы в дальнейшей работе и внедрены в практику строительства.

На этом объекте была продемонстрирована значимость системного подхода к научно-техническому сопровождению, что позволяет не только решить конкретные возникшие проблемы, но и предупредить их возникновение, а также накопить научно-инженерный опыт, что позволит обеспечить безаварийное и эффективное строительство объектов.

## **Освоение производства высокопрочных труб из стали класса прочности K70 на рабочее давление 14,71 МПа в АО «ОМК»**

*П.П. Степанов, А.В. Частухин, С.В. Головин, М.В. Самохвалов,  
С.А. Гришин, Я.С. Шлоков, А.В. Усков, М.А. Бубнов  
(АО «Выксунский металлургический завод»)*

АО «ОМК» первым в России изготовило высокопрочные трубы большого диаметра из стали классом прочности K70, которые полностью соответствуют требованиям «Газпрома» для строительства магистральных трубопроводных систем с рабочим давлением до 14,71 МПа. Трубы диаметром 1420 мм с толщиной стенки 26,3 мм изготовили из собственного проката на Выксунском заводе ОМК в Нижегородской области. Пневматические испытания труб успешно прошли на опытном полигоне ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», расположенном в г. Копейске (Челябинская обл.).

Освоение производства труб нового класса прочности стало результатом комплексной НИОКР в собственном центре исследовательских лабораторий. В ходе исследовательской работы путем физического моделирования и лабораторного воспроизведения определена требуемая технология нагрева слябов, контролируемой прокатки и ускоренного охлаждения листов, а также режимы и сварочные материалы для многодуговой сварки под флюсом продольных швов труб. Достигнутый в опытной партии труб уровень прочностных ( $\sigma_T = 611$  МПа,  $\sigma_B = 742$  МПа), пластических (21 % общего и 7 % равномерного удлинения) свойств, ударной вязкости ( $KCV^{-40} = 332$  Дж/см<sup>2</sup>) и доли вязкой составляющей в изломе ( $ИПГ^{-20} = 88$  %) полностью соответствует требованиям ООО «Газпром ВНИИГАЗ», что определило положительный результат пневматических испытаний.

## **Особенности оценки техногенного риска при испытаниях магистральных газопроводов**

*И.Г. Волынец, Ю.В. Гамера, А.Б. Докитович, Ю.Ю. Петрова  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Характерной особенностью аварий при проведении испытаний газопроводов является отсутствие возможности генерации доминирующего на стадии эксплуатации поражающего фактора (ПФ) – термического излучения. Кроме того, указанные аварии не могут сопровождаться барическим воздействием химических взрывов. Вместе с тем ввиду повышенного по сравнению с рабочим на 25 % давления в газопроводе при пневматических испытаниях такие ПФ аварии, как разлет осколков, напорное воздействие высокоскоростной струи, барическое воздействие первичной ударной волны будут существенно усилены. Обязательное присутствие вблизи испытываемого участка персонала ставит вопрос об определении безопасных расстояний (БР) для него. На основе идентифицированных БР устанавливаются и охранные зоны. Процедура определения БР при этом сводится к расчету расстояний, на которых ПФ теряют свои поражающие свойства для реципиентов, прежде всего людей и объектов окружения. Естественно, что при этом не учитывается возможность изменения БР, обусловленная теми или иными нарушениями регламента испытаний, допущенными персоналом. Между тем даже не критические ошибки персонала (ошибки, не приводящие к аварии), как будет показано в докладе на примере недостаточной засыпки газопровода и нарушении регламента заполнения водой при гидравлических испытаниях, могут ощутимо повлиять на БР.

## **СЕКЦИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ГТС**

### **Текущее состояние и перспективы развития системы управления техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы ПАО «Газпром»**

*И.В. Ряховских, Р.Р. Кантюков (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
А.Н. Бронников (ПАО «Газпром»)*

В современных условиях эксплуатации газотранспортной системы ПАО «Газпром» (ГТС) на первый план выходят задачи повышения эффективности транспорта при обеспечении надежной и безопасной эксплуатации магистральных трубопроводов (МТ). Эффективность эксплуатации МТ обеспечивается за счет повышения точности планирования ремонтных и диагностических мероприятий, качества и скорости обработки диагностической информации, а также внедрения современных технологий и материалов для обеспечения работоспособности и продления ресурса элементов ГТС.

В период 2021–2023 гг. методология Системы управления техническим состоянием и целостностью ГТС (СУТСЦ ГТС) получила развитие за счет внедрения риск-ориентированных подходов к планированию диагностических и ремонтных работ; унификации управленческих решений и требований к дефектоскопии трубопроводов на основе структурно единой нормативной базы для линейной части МТ, технологических трубопроводов компрессорных станций и газораспределительных станций; внедрения современных материалов для ремонта, средств технического диагностирования и информационных продуктов.

Основой развития методологических подходов послужили результаты многолетних ведомственных испытаний средств технического диагностирования, расчетной и экспериментальной оценки ресурса и работоспособности элементов трубопроводов с дефектами, результаты численного моделирования работоспособности МТ под действием механических нагрузок и коррозионной среды.

ООО «Газпром ВНИИГАЗ» разработаны концептуальные предложения, включающие взаимосвязь параметров и характеристик трубопровода, информации о вмещающем грунте и его окружении с данными технического диагностирования, перечень нормативной документации, необходимой для стандартизации удаленного комплексного мониторинга трубопроводов и технологического оборудования как элемент развития СУТСЦ ГТС.

Представлены к обсуждению технологические тренды СУТСЦ ГТС, текущее состояние и перспективы развития нормативной базы. Представлены результаты испытаний внутритрубных диагностических комплексов, требования к обнаружению и идентификации дефектов МТ при внутритрубном техническом диагностировании в зависимости от их типа и раз-

мера, периодичности контроля. Обсуждаются критерии безопасной эксплуатации МТ, результаты применения алгоритмов машинного обучения и предиктивного моделирования применительно к задачам СУТСЦ ГТС. Показаны перспективы развития современного программного обеспечения СУТСЦ ГТС на основе отечественных разработок.

## Обеспечение надежности и безопасности функционирования газотранспортной системы

*Ю.Д. Земенков, И.В. Сероштанов  
(Тюменский индустриальный университет)*

Обеспечение надежности как фактора стабильной предсказуемой работы технологических объектов является одним из важнейших условий эффективной работы предприятия в целом. Надежность газотранспортной системы может быть идентифицирована через комплекс показателей, в числе которых не последнее место занимает безопасность функционирования производственных объектов.

Комплексная система безопасности объектов транспорта газа направлена на создание условий для предупреждения аварийных ситуаций по какому-либо одному или нескольким направлениям, в числе которых можно рассматривать технологическую, экологическую, пожарную безопасность, а также сохранение жизни и здоровья обслуживающего персонала и людей, находящихся поблизости. Важную роль в обеспечении комплексной безопасности играют превентивные мероприятия, связанные с достижением состояний максимально надежной бесперебойной эксплуатации опасных производственных объектов при соблюдении требований регламентирующих документов. В текущем эксплуатационном режиме стабильное функционирование производственных объектов возможно при выполнении функции мониторинга и контроля показателей работы объектов, а также предотвращения наступления нештатных ситуаций (защита от наступления неблагоприятных аварийных ситуаций). В силу значительных масштабов деятельности газотранспортных предприятий требуется осуществление функции контроля эксплуатации оборудования, основных и вспомогательных процессов, соблюдения требований регламентирующих документов возможно при использовании современных автоматизированных систем, основанных на искусственном интеллекте. Именно этот инструментарий позволяет путем обработки значительных массивов данных спрогнозировать варианты развития ситуаций и обеспечить выбор оптимальных управленческих решений с учетом значительного числа факторов.

*Авторы благодарят за поддержку данного исследования национальный проект «Наука и университеты» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FEWN-2021-0012).*

## **Система управления техническим состоянием и целостностью технологических трубопроводов компрессорных станций. Перспективы развития**

*А.С. Кайдаш, М.Е. Сидорочев, О.В. Бурутин (ПАО «Газпром»),  
И.В. Ряховских, А.А. Каверин (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Общая протяженность технологических трубопроводов компрессорных станций ПАО «Газпром» (ТТ КС) составляет порядка 2200 км в пересчете на Ду 1000, из которых более 1600 км (73 %) имеют срок эксплуатации свыше 30 лет. Длительная эксплуатация ТТ КС за пределами нормативного ресурса защитных покрытий сопровождается ростом вероятности аварий по причине развития дефектов коррозии и коррозионного растрескивания металла труб и сварных соединений. Количество выявляемых аварийно-опасных дефектов на ТТ КС, эксплуатируемых более 30 лет, значительно возрастает и составляет 6 ед./км.

Для обеспечения надежной эксплуатации КС в 2021 г. завершена реализация модели управления техническим состоянием и целостностью (УТСЦ) ТТ КС на основе риск-ориентированного подхода к эксплуатации, техническому диагностированию и ремонту труб, соединительных деталей трубопровода и сварных соединений ТТ КС, учитывающая прочность и остаточный ресурс трубопроводов, а также достигнутые возможности внутритрубных автоматизированных диагностических комплексов (ВАДК).

Рассмотрена разработанная нормативная документация системы стандартизации ПАО «Газпром» в области УТСЦ ТТ КС, обеспечивающая методическое единство при оценке, прогнозировании, мониторинге, управлении целевыми показателями технического состояния трубопровода. Представлены разработанные и апробированные алгоритмы пятилетнего планирования мероприятий по техническому диагностированию и комплексному ремонту ТТ КС на базе единого унифицированного комплекса показателей: технического состояния ( $P_{TC}$ ); полноты данных технического диагностирования ( $\omega$ ); прогнозируемого объема замены элементов при капитальном ремонте ( $U$ ); приоритета по важности ( $P$ ); вероятности отказа элемента ТТ КС ( $q$ ), прогнозируемых сроков диагностирования ( $T_D$ ) и ремонта ( $T_P$ ).

Показаны особенности технического диагностирования с применением ВАДК – наиболее информативного комплекса диагностических работ при оценке технического состояния ТТ КС. Уделено внимание техническим требованиям к ВАДК, разработанным на основе критериев прочности с учетом влияния различных эксплуатационных дефектов трубопроводов на работоспособность труб, в том числе с учетом прогнозируемого времени их развития по модели коррозии и коррозионного растрескивания под напряжением до аварийных размеров. Даны практические рекомендации по учету времени развития эксплуатационных повреждений, оптимизации методов ремонта трубопроводов КС на основании физических моделей коррозии и стресс-коррозии.

Представлен разработанный универсальный отечественный программный комплекс – Интеллектуальная система сопровождения технического диагностирования газопроводов, позволяющий создать единое информационное пространство для решения задач системы УТСЦ ТТ КС: от построения логической модели трубопровода до расчета его технического состояния и возможности апробации новых расчетных моделей и алгоритмов перед их интеграцией в систему УТСЦ ПАО «Газпром».

К обсуждению предлагаются задачи перспективного развития методической и информационной базы Системы УТСЦ ТТ КС, направленные в том числе на вариативное формирование управленческих решений с применением инструментов бизнес-анализа при различных сценариях обеспечения надежности и эффективности газотранспортной системы, технических и экономических ограничениях.



## **Применение программных комплексов для управления техническим состоянием площадных объектов**

*Д.А. Ковзан*  
(ООО «Газпром трансгаз Югорск»)

В современных условиях управление техническим состоянием площадных объектов в газотранспортной системе является важной задачей, направленной на обеспечение надежности и безопасности функционирования инфраструктуры компрессорной станции. Для достижения этой цели существует множество методов и подходов, однако в последнее время все большую популярность приобретает управление на основе программных средств и инструментов.

Программный комплекс представляет собой математическую модель, которая описывает процессы, происходящие на площадных объектах, начиная от укладки, диагностики, испытаний и заканчивая капитальным ремонтом. Она позволяет проводить анализ и оптимизацию работы всей системы в целом, контролировать и управлять техническим состоянием.

Основной задачей программного комплекса является учет физических и технологических процессов, происходящих на объекте, а также интеграция паспортных, диагностических данных.

Управление техническим состоянием площадных объектов предполагает регулярный мониторинг и диагностику объектов, а кроме того прогнозирование их возможных отказов и неисправностей. Это позволяет оперативно реагировать на потенциальные проблемы и минимизировать риски для системы в целом.

Применение программы в управлении техническим состоянием площадных объектов имеет множество преимуществ, среди которых: повышение надежности и безопасности системы, оптимизация процессов управления, экономическая эффективность.

## **Цифровая платформа управления целостностью газотранспортной системы**

*И.В. Ряховских, А.А. Каверин, Ф.Н. Мирсаитов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
О.В. Бурутин, А.А. Селиванов  
(ПАО «Газпром»)*

Представлена концепция разработки цифровой платформы управления целостностью газотранспортной системы – передового инструмента сбора, накопления, валидации, комплексирования и аналитики диагностической информации о производственных объектах, оценки их надежности и остаточного ресурса. Цифровая платформа является кроссплатформенным программным комплексом с использованием сквозных цифровых технологий, микросервисной программной инженерии, предиктивной аналитики на основе гибридного моделирования. Применение цифровой платформы позволило повысить, в частности, скорость оценки и прогноза технического состояния трубопроводов на основе объективных данных более чем в 20 раз.

Реализована визуализация трехмерной модели сложных по конфигурации трубопроводов с привязкой к информационным слоям технического диагностирования по результатам анализа. Впервые успешно апробирована технология компьютерного зрения при распознавании конструктивных особенностей трубопроводов и дефектов на основе исходных «сырых» данных, получаемых внутритручными диагностическими комплексами (ВДК), реализующих магнитный и ультразвуковой методы неразрушающего контроля. Технология обеспечила 100-кратное сокращение времени распознавания исходных диагностических данных.

Логическим ядром цифровой платформы выступает модель многофакторного целевого планирования мероприятий Системы управления техническим состоянием и целостностью (СУТСЦ) ПАО «Газпром», учитывающая полноту данных технического диагностирования, поврежденность труб различными группами дефектов, остаточный ресурс, финансовые и технические ограничения. Реализованная модель СУТСЦ ПАО «Газпром» изложена в нормативных документах системы стандартизации ПАО «Газпром», обеспечивает методическое единство при оценке, прогнозировании, мониторинге, управлении целевыми показателями технического состояния и надежности трубопровода. В базовые решения цифровой платформы заложены апробированные подходы по оценке ресурса трубопроводов и формированию рекомендаций по их ремонту с учетом фактического и прогнозируемого технического состояния, основой для которых являются результаты сериальных ресурсных испытаний элементов трубопроводов на стойкость к различным видам разрушений.

Приведены результаты применения прототипа цифровой платформы в 2020–2022 гг. при расчете показателей технического состояния более чем 2000 км технологических трубопроводов компрессорных стан-

ций при формировании производственных программ их ремонта и технического диагностирования. Показаны этапы разработки и обучения сверхточной нейронной сети для задач по обнаружению, локализации, идентификации и определению размеров аномалий трубопроводов по данным ВДК. Приведены результаты оценки дефектоскопических характеристик ВДК в отношении обнаружения, идентификации и определения размеров дефектов различного типа и глубины, полученные с помощью прототипа цифровой платформы.

Экономический эффект от применения прототипа цифровой платформы в 2021–2022 гг. оценивается более чем 200 млн руб., что обусловлено снижением рисков наступления негативных событий за счет выявления 1331 аварийных и предельных дефектов в результате адресного планирования объектов технического диагностирования.

К обсуждению предлагаются результаты разработки модулей прототипа цифровой платформы, кросс-валидации, анализа применения технологии компьютерного зрения при обнаружении и идентификации поврежденных элементов трубопровода, оценки эффективности их применения. Отражены перспективы развития цифровой платформы управления целостностью газотранспортной системы для объектов ПАО «Газпром».

## Комплексная система удаленного мониторинга ГПА-32 «Ладога»

*А.А. Столбов*  
(АО «НЗЛ»)

Комплексная система удаленного мониторинга (КСУМ) предназначена для автоматизированного мониторинга параметров работы ГПА с целью выявления дефектов на ранних стадиях их развития и предотвращения аварийных ситуаций, формирования информационной базы, необходимой для выработки рекомендаций по составу и сроку проведения профилактических и ремонтных работ, а также для конструкторской доработки узлов ГПА-32 «Ладога» при такой необходимости.

При этом целью реализации является повышение уровня безопасности и надежности эксплуатации оборудования, оптимизация профиля жизненного цикла оборудования.

Одними из главных задач, решаемых системой, являются:

- переход на техническое обслуживание и ремонт по фактическому состоянию агрегата;
- сокращение числа аварийных остановов и незапланированных съёмов узлов ГПА-32 «Ладога»;
- сокращение стоимости и продолжительности ремонтных работ.

Для обеспечения решения поставленных задач КСУМ должна непрерывно анализировать тренды измеряемых и вычисляемых параметров на предмет выявления дрейфа и/или скачкообразных изменений параметров и определять прогнозируемое время выхода параметров за границу предупредительного и аварийного значений.

В настоящее время АО «НЗЛ» совместно с ООО «ГЭХ Сервис газовых турбин», компанией Группы «Газпром энергохолдинг индустриальные активы» ведет разработку КСУМ.

## **Обеспечение эффективной эксплуатации объектов газотранспортной системы с использованием систем интеллектуального управления**

*Е.Л. Чижевская, М.Ю. Земенкова  
(Тюменский индустриальный университет)*

Эксплуатация оборудования опасных производственных объектов (ОПО), к числу которых относятся предприятия газотранспортной системы, сопряжена с выполнением важной функции – контроля и предотвращения аварийных ситуаций, последствия которых могут не только препятствовать выполнению важнейших показателей деятельности предприятий, но и нанести серьезных ущерб как хозяйствующему субъекту, так и окружающей внешней среде. Ввиду серьезных масштабов деятельности подобных производственных объектов их размещение на значительно протяженных территориях, мониторинг состояния невозможен без автоматизированных систем, современными среди которых являются интеллектуальные системы, в том числе основанные на нейросетевых технологиях.

В Тюменском индустриальном университете на кафедре «Транспорт углеводородных ресурсов» разработана оригинальная современная технология интеллектуального инжинирингового мониторинга и прогнозирования состояний и событий. Реализуемый системой комплекс функций (сбор, анализ и верификация данных, идентификация состояний, обоснование выбора оптимального решения и пр.) позволяет решать разноплановые задачи, начиная с подбора оборудования и обоснования режимов его работы, включая проработку сценариев развития ситуации и вариантов управленческих решений с учетом входящих внешних потоков информации и факторов внутреннего формирования.

Разработанная авторами методология интеллектуального управления на основании системы критериев позволит оптимизировать процессы, обеспечивая максимизацию целевых критериев на всех этапах управления, рационализируя использование финансовых потоков с учетом всех возможных категорий факторов.

*Авторы благодарят за поддержку данного исследования национальный проект «Наука и университеты» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FEWN-2021-0012).*

## **Сравнительные характеристики и перспективные направления развития внутритрубного дефектоскопического оборудования**

*И.Л. Вялых; А.А. Каверин; В.Л. Лазарев; Д.А. Зотов;  
И.В. Ряховских (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
А.А. Селиванов; А.В. Сахон (ПАО «Газпром»)*

В основу Системы управления техническим состоянием и целостностью ГТС ПАО «Газпром» положены алгоритмы, базирующиеся на диагностических данных о состоянии магистральных трубопроводов (МТ) по данным периодических внутритрубных инспекций.

В период 2022–2023 гг. с применением современных риск-ориентированных подходов и теории надежности переработаны базовые нормативные документы, регламентирующие внутритрубное техническое диагностирование (ВТД) МТ.

Основой развития методологических подходов послужили результаты многолетних ведомственных испытаний средств технического диагностирования, результаты численного моделирования ресурса и работоспособности МТ под действием механических нагрузок и коррозионной среды.

Представлены результаты испытаний внутритрубных диагностических комплексов для трубопроводов малых, средних и больших диаметров, автоматизированных диагностических комплексов для трубопроводов сложной пространственной конфигурации, а также комбинированных магнитоакустических внутритрубных инспекционных приборов.

Сформулированы унифицированные целевые требования к дефектоскопическим характеристикам внутритрубных диагностических комплексов для МТ.

Отдельно рассмотрены перспективные направления развития и совершенствования оборудования ВТД, базирующегося на новых способах неразрушающего контроля с расширением круга решаемых функциональных задач.

## Перспективы внутритрубной диагностики

*С.В. Налимов, Н.Н. Иванова, М.А. Шашков, В.В. Лопатин,  
А.Е. Кусков (ООО «НПЦ «ВТД»)*

В настоящее время основным источником информации о техническом состоянии ЛЧ МГ является внутритрубная диагностика. Для контроля трубопроводов широкое применение нашли внутритрубные инспекционные приборы (ВИП) на магнитном методе неразрушающего контроля, оснащенные прецизионными навигационными модулями. При проведении регулярного обследования описанный комплекс внутритрубной диагностики (КВД) позволяет выявлять большинство опасных дефектов и поддерживать целостность и безотказную работу ЛЧ МГ.

Одной из самых серьезных угроз целостности трубопровода являются трещины, развивающиеся по механизму КРН. ВИП на магнитном методе контроля позволяют обнаруживать трещины КРН с раскрытием от 30 мкм, которые находятся в активной стадии роста. Выявление трещин с почти нулевым раскрытием характерно для трещин более ранних стадий развития, что очень проблематично, поскольку они находятся за пределами возможностей магнитного комплекса из-за ограничений метода магнитного потока рассеяния (MFL).

Искусственное ужесточение требований к выявлению законсервированных и мало раскрытых дефектов КРН магнитными методами неразрушающего контроля повлечет за собой значительный рост перебраковки при проведении ВТД. Также слабая чувствительность магнитного метода к дефектам КРН на ранних стадиях развития делает неэффективным создание автоматизированных экспертных комплексов искусственного интеллекта, формируемых на основе его данных.

Необходимость повышения надежности выявления и идентификации трещиноподобных дефектов послужила мощным стимулом для разработки и внедрения нового комплексного диагностического оборудования на магнитном и бесконтактном ультразвуковом (ЭМА) методах контроля.

Внедрение ВИП с ЭМА датчиками позволило выявлять трещины в теле трубы и зонах расположения заводских сварных соединений, которые были недоступны для выявления магнитными методами, с высокой точностью оценивать толщину стенок труб и с высокой детализацией описывать места нарушения целостности наружной изоляции.

ВИП с ЭМА датчиками ДМТПБ-1400(56")Ат/Аи успешно прошли ведомственные испытания в ПАО «Газпром» и подтвердили заявленные диагностические характеристики.

Основные направления применения новой ультразвуковой ЭМА диагностики:

- расширенная внутритрубная диагностика участков трубопроводов в части выявления трещин, расслоений и им подобных металлургических дефектов, дефектов сварных швов, измерения фактической толщины стенки трубы, контроля качества изоляции, в том числе и на вновь построенных трубопроводах;
- предоставление точной информации по объему труб, подлежащих замене.

## **Прогрессивный подход к созданию ВТД компании в условиях конкурентной среды**

*А.А. Базилевский  
(ООО «ЮЛТА»)*

ООО «ЮЛТА» является самой молодой компанией в России, выполняющей услуги по внутритрубной диагностике магистральных газо- и нефтепроводов, но несмотря на это, ей удалось достичь значительных результатов в данной сфере. Заслугой этого являются специалисты, имеющие многолетний опыт в разработке внутритрубного диагностического оборудования и программного обеспечения для анализа данных. Компания придерживается классического, проверенным временем комплекса ВТД: профилемер, дефектоскопы продольного и поперечного намагничивания и интроскоп. С помощью установленных в каждом приборе инерциальных модулей заказчику предоставляется отчет об упруго-пластичных изгибах. После проведения ООО «Газпром ВНИИГАЗ» ведомственных испытаний дефектоскопы ООО «ЮЛТА» малых диаметров внесены в реестр оборудования для проведения ВТД на объектах ПАО «Газпром».

Несмотря на достигнутые в короткий срок положительные результаты, ООО «ЮЛТА» не останавливается на достигнутом и ведет разработку нового оборудования: комплекс внутритрубной диагностики диаметром 159 мм и внутритрубное самоходное тяговое устройство.



## **Роботизированная внутритрубная диагностика газопроводов с применением электромагнитно-акустического метода контроля. Опыт создания и перспективы развития средств внутритрубной диагностики**

*С.А. Волков*  
(ООО «Газпроект-ДКР»)

Приоритетной задачей управления техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы ПАО «Газпром» является внедрение и развитие эффективных технологий технического диагностирования газопроводов. К таким технологиям относится внутритрубная диагностика с применением автоматизированных диагностических комплексов, использующих различные виды неразрушающего контроля.

На сегодняшний день диагностический комплекс ТДК-400-М-Л в сочетании с диагностическими модулями нового поколения (ЭМА-СВ-8, МКСС) позволяет провести комплексную диагностику трубопровода: ВТО, ВИК КСС, ВИК ПСС, ВИК основного металла труб и СДТ, УЗК и УЗТ основного металла труб и СДТ, УЗК КСС, контроль адгезии основного металла труб и СДТ, профилометрию основного металла труб и СДТ за один проход, а также при необходимости определение пространственного положения трубопровода.

Одной из проблем, возникающих при эксплуатации линейной части магистральных трубопроводов, является наличие протяженных участков (газопроводы-отводы, межпромысловые и региональные газопроводы, подводные переходы, переходы под автодорогами), включая трубопроводы с переходом диаметров, а также других участков трубопроводов, не оборудованных камерами запуска/приема и на которых не проводится ВТД с применением снарядов-дефектоскопов.

Решением вышеуказанной проблемы является применение беспроводных самоходных роботизированных диагностических комплексов нового поколения, разработанных АО «Диаконт».

Повышение дальности диагностирования локальных участков магистральных газопроводов достигается за счет применения автономного самоходного роботизированного комплекса с управлением по Wi-Fi. Данное исполнение комплекса на первом этапе обеспечивает проведение ВТД трубопроводов на удалении до 2000 м от места загрузки (4 км с одного места загрузки). На втором этапе в 2024–2025 гг. планируется увеличение дальности хода до 5000 м (10 км с одного места загрузки). Кроме того, отсутствие кабелей позволяет проходить любое количество отводов и проводить контроль с минимальным количеством резцов, что снижает затраты на диагностику и время на подготовку объектов контроля.

## **Методика оценки неравномерности линейных остаточных напряжений элементов при внутритрубной технической диагностике технологических трубопроводов компрессорных станций**

*С.Ю. Ворончихин (АО «ИнтроСкан Технолоджи»),  
А.А. Самокрутов (ООО «АКС»),  
Ю.А. Седелев (ООО «ЭНТЭ»)*

Одной из актуальных задач неразрушающего контроля является проблема оценки напряжений в металлоконструкциях. Знание реальных величин действующих напряжений необходимо для решения целого ряда задач, связанных с оценкой сроков дальнейшей безопасной эксплуатации опасных производственных объектов:

- контроль изменения нагрузок в процессе испытаний и ремонтных работ;
- оценка величины остаточных напряжений, возникающих при технологической обработке металла, в том числе при сварке;
- выявление превышения напряжениями допустимых величин;
- определение напряжений, возникающих при монтаже и эксплуатации крупногабаритных конструкций;
- проверка правильности результатов прочностных расчетов.

Напряженно-деформированное состояние эксплуатируемого газопровода может значительно отличаться от рассчитанного при проектировании. На остаточные напряжения, имеющиеся в трубе вследствие технологии ее изготовления, накладываются монтажные напряжения, возникающие при строительстве трубопроводов, а также напряжения, связанные с рабочими нагрузками и другими факторами при эксплуатации трубопровода. Не всегда можно достоверно определить степень влияния каждого из указанных факторов на НДС действующего трубопровода. Поэтому весьма актуальна задача прямого измерения величин напряжений (деформаций) в материале труб.

Среди методов неразрушающего контроля механических напряжений особое место занимает метод акустоупругости. Его основой является упругоакустический эффект, т.е. линейная зависимость скоростей упругих волн от механических напряжений. Коэффициенты этой зависимости строго определяет нелинейная теория упругости твердого тела.

Главными для определения напряжений являются сдвиговые волны, в которых «частицы» твердой среды колеблются в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны. Они более информативны с точки зрения исследования твердых сред: направление упругих колебаний (поляризация волны) может быть вдоль одной или другой компоненты напряжения при одном и том же направлении распространения волны.

Для учета изменения акустического пути при изменении напряжений дополнительно используются продольные волны.

Все три волны распространяются в направлении, перпендикулярном плоскости действия напряжений (прозвучивание вдоль толщины материала, т.е. по нормали к поверхности трубы).

Для реализации методики оценки неравномерности линейных остаточных напряжений элементов трубопроводов было предложено применить разработанный АО «ИнтроСкан Технолоджи» внутритрубный роботизированный диагностический комплекс (ВРДК) A2072 IntroScan.

Основным методом диагностики для данной системы является ультразвуковой (УЗ) эхо-импульсный волноводный метод, в некоторых случаях называемый как метод направленных волн (в англоязычной литературе LRUT – Long Range Ultrasonic Testing или Guided Wave), который позволяет регистрировать эхо-сигналы на больших расстояниях (до нескольких метров) от места расположения УЗ-преобразователя. Физической основой для него является эффект распространения УЗ-колебаний в пластинах на большие расстояния при определенных комбинациях типов волн, длины волны и толщины стенки.

Возбуждение и прием УЗ-колебаний обеспечивается фазированной 32-элементной антенной решеткой (АР), интегрированной в транспортный модуль ВРДК.

Каждый элемент АР представляет собой УЗ-пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП) с сухим точечным контактом (СТК) между игольчатым протектором и поверхностью металла. Для обеспечения надежного акустического контакта на шероховатых и волнистых поверхностях СТК преобразователи оснащены индивидуальным адаптивным прижимом. Применение технологии СТК позволяет не только отказаться от контактной жидкости при УЗ-контроле, но и работать при наличии на внутренней поверхности трубы пыле-масляных отложений толщиной до 5 мм. Диапазон рабочих частот СТК преобразователей составляет 30...300 кГц.

В составе АР имеются ПЭП СТК с разнонаправленными векторами силового воздействия на игольчатый протектор: касательное (вдоль поверхности детали) силовое воздействие с поляризацией вдоль и поперек оси детали, перпендикулярное силовое воздействие, что позволяет в одной точке основного металла детали получить зондирующие импульсы, формирующие поперечные волны с горизонтальной поляризацией смещений вдоль и поперек оси детали, продольную волну.

Процесс контроля основного металла деталей и сварных соединений с применением ВРДК заключается в линейном пошаговом перемещении транспортного модуля вдоль оси трубы, в излучении и регистрации эхосигналов в перпендикулярном направлении (вдоль окружности трубы). При наличии дефектов или аномалий в стенке трубы регистрируется соответствующий отклик, после анализа которого можно определить параметры дефекта.

Часть излученной в процессе контроля основного металла акустической энергии отражается от внешней поверхности детали над местом установки ПЭП СТК, и формируется «стоячая» ультразвуковая волна с длиной волны, равной двойной толщине стенки. Далее по результатам анализа

спектральной плотности акустических сигналов определяется резонансная частота колебаний стоячей УЗ-волны и фиксируется ее расчетная скорость на каждом шаге ВРДК при сканировании элемента трубопровода.

Таким образом реализована возможность определения скорости распространения продольной и поперечных волн с горизонтальной поляризацией смещений вдоль и поперек оси детали, по траектории сканирования ВРДК, что позволят осуществить оценку неравномерности линейных остаточных напряжений элементов при внутритрубной технической диагностике технологических трубопроводов компрессорных станций.

## **Технология оценки технического состояния объектов транспорта газа, основанная на инновационных методах цифровой фильтрации и поддержки принятия решения данных акустической эмиссии**

*А.Н. Кузьмин, А.В. Жуков А.В., А.П. Плотников  
(ООО «Стратегия НК»)*

Цифровизация диагностических систем наряду с использованием искусственного интеллекта являются современным мировым трендом. В частности, анализ результатов диагностики в многомерном пространстве диагностических признаков позволяет идентифицировать опасные дефекты, которые развиваются в процессе длительной эксплуатации. Известно, что образование и рост дефектов по механизму трещинообразования имеет прямую взаимосвязь с повышенными значениями локальных полей напряжений, возникающих на участках газопроводов в результате их длительной эксплуатации. В частности, данный факт определяет высокие потенциальные возможности метода акустико-эмиссионного контроля (АЭК) с точки зрения оценки вероятности наступления предельного состояния объекта. Целью настоящей работы являлось практическое обоснование применения метода АЭК для выявления зарождения дефектов коррозионного растрескивания под напряжением на эксплуатируемых объектах магистральных газопроводов и построение на этой основе технологии автоматизированного контроля таких участков.

Изложены инновационные принципы новой технологии АЭК, которые заключаются в применении систем цифровой фильтрации данных, процедуры обнаружения и выделения полезного сигнала, формирования многомерного пространства признаков наличия дефектов, а также построения системы поддержки принятия решения. На экспериментальном участке МГ подтверждено обнаружение зон зарождения опасных трещиноподобных дефектов. Предложенный способ автоматизации АЭК может быть применен к широкому кругу объектов трубопроводов различного назначения.

**Уточненные методы оценки опасности механических повреждений, вмятин и дефектов сварных соединений, разработанные в развитие Системы управления техническим состоянием и целостностью ЛЧМГ**

*В.М. Силкин, С.О. Елова, Е.Н. Овсянников, О.В. Трифонов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
А.В. Сахон, А.А. Селиванов, В.А. Шлепки  
(ПАО «Газпром»)*

Уточненные расчетные методы реализованы в Методике определения степени опасности вмятин, механических повреждений и аномалий кольцевого шва, выявленных по результатам ВТД, утвержденной членом Правления, начальником Департамента ПАО «Газпром» В.А. Михаленко 10.02.2023 (далее – Методика). Во вторую редакцию Методики включен новый раздел с положениями, регламентирующими ранжирование по степени опасности участков газопроводов с упругопластическим изгибом (УПИ), выявленным по результатам внутритрубной дефектоскопии.

Разработанные расчетные модели и критерии позволили учесть тип, размеры и расположение дефектов, конструктивное исполнение и режимы эксплуатации участка магистрального газопровода (МГ), а также полноту и достоверность исходных диагностических данных. Введена зависимость назначаемой категории опасности дефектов от режима эксплуатации участка МГ.

Применение расширенной номенклатуры исходных данных совместно с уточненными расчетными моделями позволяют более обоснованно выявлять как опасные дефекты, так и ограничивать необоснованную отбраковку неопасных дефектов. Выборочные сравнительные оценки результатов ранжирования дефектов, полученные на данных нескольких дочерних обществ, показывают системное перераспределение категорий опасности в сторону более мягких оценок. Наиболее выраженные изменения получены для поверхностных механических повреждений. Общее уменьшение количества дефектов всех типов, отнесенных по результатам первоначальной оценки к категориям «А» и «В», составляет, как правило, более 30 % по каждой группе дефектов.

Применение новых критериев ранжирования участков МГ с УПИ и отнесенных диагностическими организациями по ранее действующим правилам к категории «А» снижает протяженность участков категории «А» на 85–90 %.

## **Влияние неравномерности распределения компонентов НДС в трубах на возникновение в них эксплуатационных дефектов**

*С.И. Погуляев, И.В. Ряховских, Р.В. Кашковский, О.В. Трифонов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Явление коррозионного растрескивания под напряжением зависит от множества факторов, связанных со свойствами защитного покрытия, составом коррозионной среды, металлургической предрасположенностью и напряженно-деформированным состоянием. Именно группа факторов напряженно-деформированного состояния имеет значительное влияние на образование и рост трещин по механизму коррозионного растрескивания под напряжением (КРН). В металле стенки трубы присутствуют напряжения от эксплуатационных нагрузок, остаточные напряжения, уравновешенные по окружности трубы и по толщине стенки, а также остаточные микронапряжения, уравновешенные в пределах размера зерна. Кроме того, напряженно-деформированное состояние в трубах распределено крайне неравномерно, даже от эксплуатационных нагрузок, что может являться причиной как ускоренного роста трещин КРН, так и ее торможения.

В докладе представлены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния, возникающего при формовке трубы и при нагружении внутренним давлением, а также данные измерений уровня напряженного состояния при лабораторных и стендовых испытаниях металла труб.

На основании статистического анализа распределения дефектов КРН по данным внутритрубного диагностирования выполнена оценка расположения зон концентрации напряжений по окружности трубы.

На основании распределения уровня напряженно-деформированного состояния представлен метод учета влияния данного фактора на возникновение и рост дефектов КРН и трещин в механических повреждениях для оценки работоспособности и остаточного ресурса труб магистральных газопроводов.

## Численное моделирование аварийного разрыва сухопутных и морских трубопроводов

С.И. Сумской  
(НИЯУ «МИФИ», ЗАО «НТЦ ПБ»)

При аварийном разрыве газопроводов возникает ряд поражающих факторов, связанных с расширением и истечением сжатого газа (РБ «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа»).

В докладе рассматривается численное моделирование как генерации ударных волн при разрушении стенок трубопровода, так и истечения газа на месте разрушения.

Для расчета истечения используется одномерная модель движения сжимаемой среды в трубе с теплообменом на стенках. Полученные результаты сравниваются с экспериментом и показывается их хорошее совпадение. Также проводится сравнения численных расчетов с имеющимися параметрическими моделями. Дается оценка их точности.

Полученные результаты по скорости и интенсивности истечения газа из трубопровода позволяют проводить последующие расчеты таких процессов, как:

- рассеяние выброса, в том числе с учетом сверхзвуковых участков;
- горение струевых факелов;
- воздействие скоростного напора.

Расчеты процесса генерации и распространения ударных волн при разрыве газопровода проводились в одно- и двухмерных постановках.

Получены данные по затуханию волн в различных направлениях от разрушенных участков.

Даны оценки возможности использования различных аппроксимаций (сферических, цилиндрических) для оценки параметров волн давления.

Для оценки последствий разрыва подводной части разработан ряд моделей:

- расчет параметров волн давления в воде;
- оценка скорости метания осколков (стенки трубы, элементы бетонировки);
- расчет параметров выхода/перехода волны из воды в воздух;
- расчет взаимодействия волн с судами (корпусами судов) на поверхности.



## **Моделирование коррозионного растрескивания под напряжением высокопрочных труб**

*Р.В. Кашковский, С.И. Погуляев, И.В. Ряховских, А.В. Нищик  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) как массовое явление на длительно эксплуатируемых газопроводах большого диаметра проявилось в конце XX века и впоследствии стало одной из наиболее острых проблем, вызывающих инженерные отказы на протяженных системах магистральных газопроводов.

Современный этап развития магистрального транспорта газа характеризуется переходом на трубы повышенной категории прочности, что ставит перед операторами трубопроводных систем новые задачи по изучению процесса КРН на трубах данного типа с целью расчетного прогнозирования их ресурса.

Известно, что наибольший вклад в стойкость трубных сталей против КРН оказывают факторы металлургического и технологического трубного передела при их производстве.

По итогам комплекса проведенных работ по моделированию КРН трубных сталей разработан и в 2023 г. утвержден СТО Газпром 2-5.1-1290-2023 (30-11.3-007-2023), в котором стандартизированы методики лабораторных испытаний металла труб магистральных газопроводов, а также регламентированы критерии оценки склонности стали к КРН.

В докладе представлены особенности разрушения труб с длительными сроками эксплуатации в составе подземных газопроводов по механизму околонейтрального КРН, а также обсуждены основные стадии процесса, их кинетика и условия реализации.

Расчетно-экспериментальное моделирование КРН трубной стали X80 с феррито-бейнитной структурой выполнено на основе результатов комплекса электрохимических, коррозионно-механических, ресурсных испытаний, а также рентгеновских измерений послойной текстурной неоднородности и распределения остаточных напряжений в исследуемом материале.

По результатам моделирования доказано снижение стойкости к развитию КРН высокопрочных трубных сталей категории прочности X80 по сравнению с трубами X70 с феррито-перлитной структурой по следующим параметрам:

- скорость развития (прироста) трещины на различных стадиях процесса растрескивания под действием статических и циклических нагрузок;
- глубина слоя с повышенными остаточными напряжениями;
- глубина слоя с резким изменением текстурных характеристик стали.

## **Концепция системы комплексного мониторинга магистральных газопроводов как элемента СУТСЦ ГТС**

*И.В. Ряховских, В.М. Силкин, О.В. Трифонов, И.Ю. Морин  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

К настоящему времени на объектах ПАО «Газпром» используются различные виды систем мониторинга, выполняющие локальные задачи: выявление признаков развития подвижек грунта по трассе трубопровода, изменение температурного и/или влажностного режима, выявление механической активности по трассе трубопровода, контроль НДС отдельных участков трубопровода, контроль работы электрохимической защиты и т.д.

Дальнейшее развитие систем мониторинга целесообразно рассматривать как элемент системы управления техническим состоянием и целостностью (СУТСЦ) газотранспортной системы. Это позволит совмещать информацию различных видов обследований трубопровода и за счет этого повысить точность оценки технического состояния.

В докладе представлена структура научного обеспечения организации и анализа данных комплексного мониторинга объектов как элемента системы управления техническим состоянием и целостностью производственных объектов. Определены основные виды и способы мониторинга, применяемые на объектах транспорта газа.

В 2021 г. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» разработана Интеллектуальная система сопровождения диагностирования технологических трубопроводов компрессорных станций. Система позволяет выполнять обработку первичных данных диагностирования и совмещать информацию различных видов контроля с применением технологий машинного обучения.

Опыт создания данной системы целесообразно использовать в качестве ИТ-базы системы обработки данных геотехнического мониторинга.

При таком подходе мониторинг может быть гармонично встроен в действующую систему управления техническим состоянием и целостностью производственных объектов ПАО «Газпром».

## **Совершенствование системы эксплуатации объектов газотранспортной системы с применением вихревого эжекторного компрессора**

*Р.Х. Саляхов, Р.Ф. Шарафеев  
(ООО «Газпром трансгаз Казань»),  
Д.М. Ляпичев (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В работе представлены результаты исследования вихревого эжекторного компрессора (ВЭК), обеспечивающего возможность сокращения технологических потерь природного газа на компрессорных станциях (КС) магистрального трубопроводного транспорта при организации планово-профилактических и ремонтных работ.

Проведен анализ существующих способов и технических решений по сокращению выбросов газа. Сформулированы оптимальные требования, обеспечивающие минимальную металлоемкость, автоматизацию, количество динамических узлов, приводных агрегатов и механизмов.

Сформировано схемное технологическое решение для применения ВЭК на КС. Построена геометрическая модель. Выполнен расчет вихревого эжекторного компрессора и доработана методика расчета вихревых устройств. Проведено численное моделирование вихревого эжектирующего устройства с помощью программных комплексов. Дана оценка применимости существующих подходов в описании сверхзвукового пространственного течения газа для повышения точности расчетов.

С целью опытного подтверждения полученных расчетных сведений разработан лабораторный образец и проведены испытания модельного ВЭК на атмосферном воздухе, обеспечивающие имитацию откачки газа из замкнутого участка, а также режим «безрасходной» работы устройства при достижении минимального давления пассивного газа.

Установлены зависимости расхода из откачиваемой полости и давления в ней при различных расходах активного газа на одно сопло.

Проведенное сравнение результатов численного моделирования с данными измерений при лабораторных испытаниях показало их удовлетворительное согласование.

# **Разработка мобильной телеуправляемой робототехнической плавучей платформы для осуществления диагностики технического состояния подводного перехода магистрального газопровода**

*М.С. Тахавиев, Н.С. Муллин  
(ООО «Газпром трансгаз Казань»)*

1. Направление НИОКР, актуальность разработки.

Технологии контроля технического состояния и дистанционного коррозионного мониторинга трубопроводных систем. Недостатки существующих методов. Применение мобильной телеуправляемой робототехнической плавучей платформы (МТРПП) в качестве замены приборно-водолазного обследования. Преимущества использования МТРПП.

2. Область применения, масштаб использования результатов НИОКР.

Внедрение результатов НИОКР планируется в ООО «Газпром трансгаз Казань» (далее – Общество) для проведения диагностических обследований ПП МГ через реки Волгу, Каму, Вятку, Свиягу и др., а также через их устья и притоки.

По результатам НИОКР, в случае принятия ПАО «Газпром» соответствующего решения, разработанная МТРПП может быть использована в других газотранспортных дочерних обществах ПАО «Газпром».

3. Новизна и научно-технический уровень НИОКР.

Новизна НИОКР заключается в разработке многофункциональной робототехнической платформы с набором автоматических режимов работы и программным модулем, запоминающим тип акватории и позволяющим оценить характеристики подводного перехода при проведении комплекса диагностических обследований ПП МГ, исключающей необходимость задействования дополнительной приборной и водолазной поддержки.

4. Технические требования, предъявляемые к МТРПП.

Разрабатываемая робототехническая платформа в соответствии с требованиями СТО Газпром 2-2.3-954 должна пройти процедуру оценки готовности к выполнению работ по диагностике объектов транспорта газа ПАО «Газпром» и иметь необходимые сертификаты на применение технических устройств (приборов) и оборудования на опасных производственных объектах.

5. Основные функции, выполняемые МТРПП.

МТРПП должна предусматривать работу следующих систем:

- детектирование положения газопровода и пригрузов на оголенных и провисающих участках;
- детектирование дефектов и повреждений изоляционного покрытия;
- оценка наличия утечек транспортируемого продукта;
- построение карты дна акватории.

#### 6. Основные технические решения МТРПП.

МТРПП состоит из надводного и подводного модулей, а также комплекса диагностического оборудования, позволяющего производить комплексное обследование подводных переходов ЛЧ МГ.

#### 7. Планируемые результаты и эффективность разработки.

Изготовление опытного образца мобильной телеуправляемой робототехнической плавучей платформы.

Механизмом появления экономического эффекта от использования результатов НИОКР является снижение материальных, энергетических затрат и затрат живого труда за счет:

- использования новой технологии и технологического процесса осмотра ПП МГ, а также импортозамещающих материалов и оборудования;
- снижения затрат на диагностику, контроль эффективности защиты и обследования состояния ПП МГ.

## Гибкие детекторы для цифровой радиографии. Опыт применения

К.А. Багаев  
(ООО «Ньюком-НДТ»)

Прямая цифровая радиография с использованием плоскопанельных детекторов зарекомендовала себя как высокоэффективный и экономически обоснованный способ проведения радиографического контроля. Основными преимуществами данного метода являются:

- отсутствие расходных материалов;
- срок службы до 10 лет в зависимости от набранной дозы;
- быстрота получения и передачи информации;
- наиболее высокая достижимая чувствительность контроля;
- наибольший динамическим диапазон;
- возможность работы в беспроводном режиме;
- минимальные дозовые нагрузки.

Однако при наличии большого количества преимуществ технология имеет ряд ограничений. Одно из которых – невозможность изгиба детектора в соответствии с формой контроля.

В настоящее время это ограничение преодолено. Комплекс мобильной цифровой радиографии КАРАТ РТС 1036 включает в свой состав гибкий детектор, чей радиус изгиба от 20 до 106 см, вес 2,4 кг. Детектор беспроводной с двухдиапазонным Wi-Fi и аккумулятором емкостью 3350 мА·ч.

Изгиб детектора в соответствии с формой объекта контроля улучшает качество радиографических снимков, так как в этом случае отсутствует дисторсия (искажение) изображения объекта на краях снимка. Детектор заметно проще крепить к объекту контроля в сравнении с плоским аналогом.

Наиболее заметным преимуществом гибких детекторов является сокращение времени экспозиции за счет уменьшения расстояния объект – детектор, которое, в свою очередь, определяет фокусное расстояние при контроле. Уменьшение фокусного расстояния квадратично уменьшает время экспозиции.

ООО «Ньюком-НДТ» были проведены успешные испытания комплекса КАРАТ РТС 1036 на катушках различных диаметров. Во всех случаях качество снимков было таким же или лучше в сравнении с плоскими детекторами со сходными техническими характеристиками.

Были разработаны удобные крепления на магнитных колесах, которые позволяют легко перемещать детектор вдоль кольцевого шва без необходимости отрыва детектора от трубы.

Гибкий детектор в совокупности с программным обеспечением X-Vizor, планшетом, ударопрочным кейсом и креплениями представляет собой законченный комплекс мобильной цифровой радиографии – КАРАТ РТС 1036. Данный комплекс является удобным и экономически обоснованным решением для контроля кольцевых швов труб диаметром от 200 мм и выше.

## **Инфразвуковая система мониторинга трубопроводов (ИСМТ). Опыт применения на трубопроводах ПАО «Газпром»**

*В.В. Супрунчик (ООО НПФ «ТОРИ»)*

Обеспечение безаварийного транспорта углеводородного сырья, продуктов его переработки является для ПАО «Газпром» одной из приоритетных задач в условиях жестких экономических санкций, возросшей террористической опасности, возможных внешних вмешательств в системы трубопроводного транспорта, текущего износа производственной и технологической инфраструктуры, а также экологических рисков. Опыт эксплуатации трубопроводных систем показывает, что периодической диагностики недостаточно для решения этой задачи.

Обеспечение непрерывного многофункционального контроля трубопроводов ПАО «Газпром» выполняет ИСМТ, которая отличается высокой чувствительностью и точностью, благодаря специальным методам регистрации и обработки инфразвуковых сигналов, которые распространяются внутри трубопровода и несут полную информацию о его состоянии.

ПАО «Газпром» с целью исключения вмешательств в работу конденсатопровода в 2008 г. запустило ИСМТ в ООО «Оренбурггазпром» с функциями «обнаружение утечек», «локация внутритрубных устройств», «охрана и диагностика», также опробована функция «обнаружение механических воздействий» на конденсатопровод и прилегающий грунт. Задача защиты конденсатопроводов, непрерывного контроля их герметичности была успешно решена. В настоящее время протяжённость контролируемых ИСМТ конденсатопроводов ООО «Газпром добыча Оренбург» превышает 600 км.

В 2012 г. выполнено внутритрубное «инфразвуковое сканирование» газопровода «Сахалин-Хабаровск-Владивосток», обнаружены многочисленные твёрдые отложения, в том числе критичные для прохождения очистных устройств.

В 2016 г. ИСМТ запущена на газопроводах ООО «Ново-Салаватская ПГУ» для контроля их герметичности, обеспечения функций телемеханики.

В 2017 г. в рамках НИОКР ПАО «Газпром» на магистральном газопроводе «Парабель-Кузбасс» ООО «Газпром трансгаз Томск» запущена в эксплуатацию ИСМТ с функциями «обнаружение утечек», «локация ВТУ», «охрана и диагностика», опробованы функции «обнаружение механических воздействий», «инфразвуковое сканирование», «измерение объёмного расхода» газа инфразвуковым методом. Разработаны и утверждены ПАО «Газпром» требования к инфразвуковым системам мониторинга газопроводов, а также программа и методика испытаний. В 2021 г. завершены успешные приёмочные испытания системы с участием департаментов ПАО «Газпром», ООО «Газпром трансгаз Томск», ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

Результаты эксплуатации и испытаний ИСМТ признаны успешными, в 2020 году система включена в Реестр инновационной продукции

ПАО «Газпром» для повышения промышленной и экологической безопасности трубопроводов. ИСМТ выполнена на отечественном ПО и комплектующих. Многолетний практический опыт эксплуатации ИСМТ показал ее высокую надежность, неубываемость и востребованность для обеспечения охраны и непрерывного контроля технического состояния конденсатопроводов и газопроводов ПАО «Газпром», продуктопроводов ПАО «СИБУР Холдинг» и ПАО «Транснефть», магистральных и соединительных нефтепроводов ПАО «Газпромнефть», ПАО «Сургутнефтегаз», ПАО «ЛУКОЙЛ», ПАО «Роснефть».



## **Практика эксплуатации потенциально опасных участков магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Уфа»**

*Р.В. Закирьянов, А.В. Яровой, И.М. Исламов,  
М.В. Закирьянов (ООО «Газпром трансгаз Уфа»)*

ООО «Газпром трансгаз Уфа» эксплуатирует более 4700 км магистральных газопроводов (МГ) и газопроводов-отводов. Возраст значительной части газопроводов большого диаметра составляет около 40 лет.

В настоящее время благодаря достигнутым возможностям внутритрубной технической диагностики (ВТД) МГ идентифицируются не только аномалии тела трубы и кольцевых сварных соединений, но и участки с ненормативными радиусами изгиба, которые отличаются наиболее высокими эксплуатационными нагрузками и относятся к потенциально опасным.

Отдельно стоит отметить, что существующие способы оценки напряженно-деформированного состояния стенки (НДС) трубы не охватывают кривые вставки (отводы холодного гнутья). Сложность в оценке НДС МГ представляют участки упругопластических изгибов, сопряженные с отводами холодного гнутья. В свою очередь статистика аварий и инцидентов на линейной части МГ показывает, что НДС является основным показателем работоспособности трубы.

В докладе:

1) представлена практика использования результатов ВТД в оценке технического состояния участков МГ с ненормативными радиусами изгиба и выполнена оценка их достоверности;

2) на основе закона плоских сечений и данных ВТД предложен экспертный подход в оценке опасности аномалий тела трубы и кольцевых сварных соединений;

3) представлен запатентованный ООО «Газпром трансгаз Уфа» способ выявления потенциально опасных участков магистральных трубопроводов с отводами холодного гнутья, включающий расчет изменения изгибных деформаций в стенке отводов холодного гнутья и учет переменного модуля упругости трубной стали.

## СЕКЦИЯ Г РЕМОНТ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ГТС

### **Методология оценки работоспособности и ремонтпригодности трубопроводов в системе управления техническим состоянием и целостностью объектов ГТС**

*И.В. Ряховских, В.П. Столов, М.Ю. Панов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
А.А. Селиванов, А.В. Сахон (ПАО «Газпром»)*

Основной целью системы управления техническим состоянием и целостностью объектов газотранспортной системы (ГТС) является обеспечение надежности и безопасности их эксплуатации и поддержание требуемого технического состояния для сохранения необходимой пропускной способности. В условиях существенных ресурсных ограничений, в том числе финансирования, оценка работоспособности и ремонтпригодности дефектных элементов трубопроводов является наиболее ответственным этапом цикла управления техническим состоянием и целостностью объектов ГТС.

В работе для оценки работоспособности и ремонтпригодности протяженных участков реализован методический подход, согласно которому устанавливаются 4 класса надежности объекта ГТС (высокий, средний, нормальный, низкий). Каждому классу надежности соответствует назначенный диапазон значений расчетной вероятности отказа дефектного элемента. Расчет вероятности отказа дефектного элемента выполняется по модели «нагрузка – сопротивление» с учетом современных кинетических моделей развития дефектов в процессе эксплуатации.

Элементы трубопроводов, отнесенные по результатам расчетов к классу надежности «низкий», подлежат оперативному ремонту или корректировке режима эксплуатации трубопровода.

Элементы трубопроводов, отнесенные по результатам расчетов к классу надежности «нормальный» или «средний», подлежат плановому наружному обследованию, срок проведения которого определяется расчетом с использованием соответствующих кинетических моделей развития дефектов в процессе эксплуатации.

Элементы трубопроводов с повреждениями, для которых сохраняется вероятность отказа на уровне «высокий», не подлежат механическому ремонту, а в качестве мероприятия по их санации достаточно восстановить изоляционное покрытие.

## **Методические основы обоснования программ технического диагностирования и ремонта магистральных газопроводов с учетом изменения технического состояния и перспективных потоков газа**

*В.А. Шлепкин, А.А. Селиванов, А.Ю. Попов (ПАО «Газпром»),  
С.В. Нефедов, А.Ю. Аладинский (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Управление техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы (УТСЦ ГТС) ПАО «Газпром» направлено на обеспечение требуемой работоспособности и безопасности объектов в целях выполнения основной производственной задачи – поставки газа потребителям. Эффективность мероприятий УТСЦ непосредственно связана с синхронизацией потоковой загрузки ГТС и планированием диагностирования и ремонта в долгосрочной перспективе.

В период 2022–2023 гг. разработана методика ранжирования участков линейной части магистрального газопровода (ЛЧМГ), учитывающая не только показатели целостности, но и потребность в их потоковой загрузке. Основой развития нового методического подхода к планированию мероприятий СУТСЦ ГТС послужил многолетний опыт разработки и согласования производственных программ ПАО «Газпром» технического диагностирования и ремонта ЛЧМГ.

Взамен ранее применявшегося балльного показателя приоритета по важности разработан показатель системного приоритета, учитывающий совместно показатели технического состояния, техногенного риска и коэффициент потоковой загрузки, оцениваемый на основании гидравлического расчета перспективной загрузки участка ЛЧМГ в 10-летнем и более периоде.

Рассмотрены методические особенности расчетной оценки системного приоритета участков ЛЧМГ в составе расчетно-технологических комплексов в зависимости от назначения газопровода (магистральный, распределительный, газопровод-отвод).

Разработанная методика ляжет в основу обоснования системы принятия решений по оптимальному выбору участков ЛЧМГ для включения в программы технического диагностирования и ремонта с целью своевременного выявления и устранения узких мест в потоковой схеме поставки газа потребителям.

## **Применение акустической системы обнаружения утечек для выявления механических воздействий на грунт в охранной зоне газопровода**

*А.В. Ямкин, А.С. Маслов  
(ООО «Газпром трансгаз Томск»)*

**Актуальность.** Одной из наиболее распространенных причин аварий на газопроводах являются механические повреждения при проведении несогласованных земляных работ в охранных зонах газопроводов. Для своевременного обнаружения данных работ может использоваться акустическая система обнаружения утечек и сопровождения внутритрубных устройств в газопроводах, работающая в инфразвуковом диапазоне. Принцип работы таких систем основан на регистрации и обработке аэроакустических колебаний в частотном диапазоне до 16 Гц, распространяющихся внутри газопровода.

**Цель.** Оценка возможности обнаружения механических воздействий на грунт в охранной зоне газопровода за счет регистрации акустических колебаний, распространяющихся по газу, с использованием акустической системы обнаружения утечек.

**Методы.** Акустический мониторинг для обнаружения механических воздействий на грунт в охранной зоне газопровода с использованием сети распределенных датчиков, установленных на газопроводе.

**Результаты.** Показана возможность регистрации факта и определения местоположения механических воздействий на грунт с использованием акустической системы обнаружения утечек. При этом система в автоматическом режиме определяла движение пешехода, движение автомобиля и работу экскаватора в пределах охранной зоны газопровода на разных расстояниях от его оси. Ложные срабатывания системы при движении сельскохозяйственной техники за пределами охранной зоны, а также при технологических переключениях трубопроводной арматуры на контролируемом участке газопровода отсутствовали.

**Выводы.** Полученные результаты показали возможность применения акустической системы обнаружения утечек для мониторинга газопроводов с целью выявления несанкционированных земляных работ в охранной зоне газопровода.

## **Новые технологии ремонта магистральных и промысловых трубопроводов с применением сварки и родственных процессов**

*С.П. Севостьянов, С.В. Андронов, С.В. Овечкин  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В докладе представлены результаты исследований технологий ремонта магистральных трубопроводов с применением сварки и родственных процессов, в том числе ремонт заводских изделий в условиях монтажной площадки.

Представлены результаты исследований технологий ремонта врезкой под давлением стояков отбора газа наружным диаметром 57 мм и номинальной толщиной стенки не менее 5,0 мм на объектах ПАО «Газпром», выполненных в рамках работ по расширению области выполнения работ с применением технологии врезки под давлением для ремонта трубопроводов малого диаметра.

Также в докладе приведены результаты исследования по повышению производительности и качества работ при проведении ремонта магистральных и промысловых трубопроводов стальными сварными муфтами с применением позиционеров-вращателей клещевых отечественного изготовления.

Приведен анализ проектных решений по тройниковым соединениям (прямым врезкам) объекта «Развитие газотранспортных мощностей ЕСГ Северо-Западного региона, участок Грязовец – КС Славянская» и результаты квалификационных испытаний технологий ремонта дефектов сварных соединений узлов трубопроводов заводского изготовления в условиях строительно-монтажной площадки.

## **Опыт внедрения инновационных решений при выполнении работ по ДТОиР Инженерно-техническим центром ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»**

*С.П. Дидур  
(ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»)*

Инженерно-технический центр (ИТЦ) был создан как высококвалифицированное, мобильное подразделение ООО «Газпром трансгаз Ставрополь», способное оперативно решать задачи по диагностике, ремонту и наладке технологического оборудования Общества, линейной части магистральных газопроводов и компрессорных станций.

Основная производственная задача ИТЦ – оказание инжиниринговых услуг для обеспечения бесперебойной работы объектов газотранспортной системы юга России на основе передовых методов диагностического обслуживания и мониторинга состояния оборудования объектов.

При выполнении производственных программ службами ИТЦ особое внимание уделяется работам, связанным с внедрением в филиалах Общества нового оборудования, технического перевооружения, входной контроль поступающих в УМТС и К труб, СДТ и ТПА, работам по диагностическому обслуживанию методами неразрушающего контроля технологического оборудования на КС, ГРС, линейной части газопроводов, мониторингу технического состояния и методическому обеспечению эксплуатации газотурбинных двигателей ГПА на компрессорных станциях Общества.

Инженерно-технический центр проводит активную работу по внедрению рационализаторских предложений, использованию результатов НИОКР и патентов, а также собственных решений, направленных на обеспечение безопасности и на сокращение трудозатрат. В последние годы в ИТЦ были разработаны и внедрены решения по ремонтно-техническому обслуживанию предохранительных клапанов, обеспечению надежности функционирования систем контроля степени одоризации газа, разработаны многоканальный прибор для измерения и анализа вибрационных параметров, внутритрубный видеоинспектор и ряд других перспективных устройств. Общество является держателем интеллектуальных прав на разработанные устройства и методы. Предложенные решения имеют потенциал для внедрения в других дочерних обществах ПАО «Газпром».

## **Опыт организации работ по ДТОиР основного технологического оборудования собственными силами ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»**

*В.В. Конев  
(ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»)*

С целью сокращения затрат на капитальный ремонт, техническое обслуживание и диагностическое обследование объектов подрядным способом в ООО «Газпром трансгаз Ставрополь» активно ведется работа по повышению эффективности использования и оптимальной загрузке собственных производственных мощностей, совершенствованию имеющихся и внедрению новых методов ремонта технологического оборудования хозяйственным способом.

Для решения текущих задач по ДТОиР одним из филиалов общества – Цехом металлопластовых и полиэтиленовых изделий (далее – ЦМПИ) налажен выпуск продукции собственного производства. Основная деятельность ЦМПИ представляется в настоящем докладе.

Основной задачей ЦМПИ является оперативное удовлетворение потребностей филиалов Общества в нестандартных приспособлениях, технической оснастке и изделиях штучного и мелкосерийного производства собственной разработки и изготовления, а также ремонт объектов газотранспортной системы, в том числе с применением продукции собственного производства.

На предприятии также производится трубная продукция – трубы полиэтиленовые армированные двух конструкций.

Перечень выполняемых работ и выпускаемой продукции для реализации программ по повышению надежности газотранспортной системы в целом состоит более чем из 500 наименований.

## **О задачах МТК 543/ТК 214 «Защита изделий и материалов от коррозии, старения и биоповреждений» и разработке нормативных документов противокоррозионной защиты**

*Н.Г. Петров*  
(Ассоциация «СОПКОР»)

Добровольная саморегулируемая организация «СОПКОР» учреждена 15 лет назад.

В настоящее время состав Ассоциации «СОПКОР» насчитывает 27 организаций из Российской Федерации, Республики Беларусь, Республики Казахстан.

Предприятия – члены Ассоциации являются основными производителями оборудования систем электрохимической защиты и систем мониторинга коррозии, изоляционных и лакокрасочных материалов для защитных покрытий на их основе.

Деятельность Ассоциации как добровольной саморегулируемой организации связана с контролем за предпринимательской деятельностью ее членов в части соблюдения ими требований федеральных и внутренних нормативных документов. Кроме того, наряду с контрольными функциями приоритетными направлениями деятельности определены и такие, как развитие нормативной базы профессиональной деятельности и повышение квалификации кадрового потенциала.

Организация обучения и сертификация квалификаций персонала находятся в ведении подразделения Ассоциации – Центра независимой оценки квалификаций, аккредитованного в Национальном совете по профессиональным квалификациям нефтегазового комплекса и международном профессиональном Совете FROSIO.

Нормотворческая деятельность Ассоциации ведется техническим комитетом Ассоциации. В настоящее время организация является членом ряда технических комитетов. Прежде всего это МТК 543 «Защита изделий и материалов от коррозии, старения и биоповреждений» и одноименный национальный ТК 214, затем ПК 8 МТК 523/ТК 023 «Нефтяная и газовая промышленность» и ПК 13 ТК 465 «Строительство».

Учитывая, что задачи защиты оборудования от коррозионных угроз носят межотраслевой характер, наиболее оптимальным решением проблем видится в унификации требований к оборудованию и материалам, их стандартизации на федеральном, а с учетом интеграционных процессов стран – членов Евразийского экономического союза и на межгосударственном уровне, особенно после выхода в свет Технического регламента Евразийского экономического союза «О требованиях к магистральным трубопроводам для транспортирования жидких и газообразных углеводородов» (ТР ЕАЭС 49/2020).

Для решения задач унификации требований к оборудованию и материалам Ассоциация ведет работу по программам МТК 543/214. В настоящее время за Ассоциацией закреплено руководство двумя подкомитетами



в национальном ТК 214 – это ПК2 «Электрохимическая защита, диагностика коррозионных угроз» и ПК3 «Защитные и изоляционные покрытия, ингибиторы коррозии». В области деятельности этого Технического комитета закреплён фонд стандартов «Единая система защиты от коррозии и старения» (ЕСЗКС), в совершенствовании которых заинтересованы не только члены Ассоциации, но заказчики.

О стандартах ЕСКС.

Основная проблема стандартов системы ЕСЗКС состоит в том, большая их группа требует актуализации и пересмотра для учёта современных технологий. Такая работа на системном уровне не проводилась уже более 20 лет. При этом стараниями заинтересованных организаций в стандартизацию по защите от коррозии введена довольно большая группа зарубежных норм.

Необходимо отметить, что при всем уважении к техническому уровню этих стандартов их бессистемное применение в наших условиях таит ряд рисков. Прежде всего это скрытое лоббирование продукции зарубежных компаний, проблемы с оценкой проектных технических решений, повышенные затраты на этапах эксплуатации и сервиса ввиду удалённости производителя, ну и напоследок, санкционные риски, с которыми отечественные компании сталкиваются все чаще.

В текущем году по инициативе Ассоциации реализуется пересмотр и разработка ряда стандартов как национального, так и межгосударственного уровней.

Главная задача Ассоциации – восстановление приоритета системы стандартов ЕСЗКС.

## **Аудит системы электроснабжения действующих объектов ПАО «Газпром» в части РЗА**

*Д.М. Шишкин*

*(Лаборатория релейной защиты, автоматики  
и автоматизированных систем управления энергетики  
(г. Санкт-Петербург) ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Необходимость проведения аудита системы электроснабжения на действующих объектах ПАО «Газпром» в части релейной защиты и автоматики (РЗА) обусловлена изменением энергетического хозяйства объекта в процессе его эксплуатации и/или развития. Изменения могут быть связаны как с этапами ввода новых очередей строительства, так и при изменениях во внешней схеме электроснабжения объекта. Несоответствия проектных и реальных режимов работы электрической схемы может приводить к сбоям в работе комплекса РЗА, что в свою очередь влечет снижение надежности электроснабжения объекта и влияет на бесперебойность работы всей ГТС.

Аудит системы электроснабжения на действующих объектах ПАО «Газпром» в части РЗА включает в себя следующие основные этапы:

- сбор и анализ данных о работе существующего комплекса РЗА;
- составление и последующий анализ актуальной схемы электроснабжения объекта учитывающий перспективы развития;
- перерасчет уставок комплекса РЗА и составления подробных заданий на параметрирование устройств защиты и автоматики;
- разработка организационно-технических мероприятий по повышению надежности работы РЗА и системы электроснабжения объекта в целом.

Внедрение и реализация организационно-технических мероприятий, разработанных в результате проведения аудита системы электроснабжения в части РЗА, на объектах энергоснабжения повышает надежность электроснабжения, что в свою очередь вносит существенный вклад в обеспечение бесперебойной работы ГТС.

## **Комплексное решение вопросов повышения надежности ГТС в особых условиях эксплуатации объектов, с применением системы коррозионного мониторинга**

*В.Р. Олексейчук (ПАО «Газпром»),  
Д.Б. Захаров (АО «ТСТ»)*

В особых условиях эксплуатации газотранспортной системы, связанных с высокой интенсивностью влияния на промышленные объекты мегаполисов и сближением с газопроводами промышленных, торгово-развлекательных и жилых зданий, сформировалась необходимость принятия мер по достижению максимальной безопасности эксплуатации опасных производственных объектов.

Для повышения вероятности безотказной работы газопроводов по причине коррозии необходимо увеличить надежность работы системы электрохимической защиты. В дочерних обществах реализуется пилотный проект, направленный на изменение бизнес-процессов, внедрение инновационных продуктов, повышение надежности, применение цифровых технологий накопления и обработки информации и выполнения анализа. Работа связана с реализуемым процессом защиты газопроводов от коррозии, для осуществления которого мобилизованы соответствующие ресурсы: персонал, оборудование, материалы. В ООО «Газпром трансгаз Москва» пилотно введена в эксплуатацию система коррозионного мониторинга с программно-аналитическим комплексом. Установлено, что внедрение на объекты ГТС оборудования коррозионного мониторинга, а также элементов контроля параметров работы системы электрохимической защиты дает возможность специалистам служб защиты от коррозии эффективно управлять системой противокоррозионной защиты.

Разработанный комплекс СКМ применен как инструмент поддержки принятия управленческого решения в работе системы противокоррозионной защиты, формирования планов технического обслуживания и ремонта защищаемого объекта и оборудования ПКЗ, а также планов диагностических обследований защищаемого объекта.

Программно-аналитический комплекс обеспечивает построение математической модели системы ЭХЗ с расчетом оптимальных режимов работы оборудования. Технология внедрена на ряде объектов ООО «Газпром трансгаз Москва», с интегральным экономическим эффектом более 81 млн руб.

## **Управление и диагностика системы противокоррозионной защиты на базе коррозионного мониторинга**

*С.А. Никулин, Е.Л. Карнавский*  
(ООО «Газпром проектирование»)

Обеспечение надежного функционирования газотранспортной системы является основной задачей эксплуатирующих предприятий. По результатам анализа отчетов Ростехнадзора отмечается, что основные угрозы целостности магистрального трубопроводного транспорта являются следствием интенсивного развития коррозионных процессов. За последнее десятилетие более 40 % отказов нефтегазопроводов связано с коррозионными повреждениями.

С внедрением на объекты магистрального транспорта нефти и газа оборудования подсистем дистанционного коррозионного мониторинга появляется возможность контролировать состояние защищаемого объекта по всей протяженности и во времени, собирая и обрабатывая большие объемы измерительных данных, характеризующих коррозионное состояние точек и участков магистральных газопроводов. При этом появляется возможность управления средствами электрохимической защиты (ЭХЗ) как единой системой.

Авторами был проведен ряд исследований, направленных на разработку и последующую апробацию принципов решения аналитических задач системы коррозионного мониторинга, таких как оптимальное управление оборудованием ЭХЗ, диагностика технического состояния и расчет остаточного ресурса элементов системы противокоррозионной защиты, определение показателей надежности системы противокоррозионной защиты с выводом предложений по перераспределению нагрузки на более надежные элементы для гарантированного обеспечения защищенности объекта от коррозии.

Разработанные подходы прошли успешную апробацию на объектах ПАО «Газпром», а также широко внедряются при проектировании и эксплуатации систем коррозионного мониторинга объектов магистрального транспорта нефти и газа.

## **Использование инновационных магнетитовых заземлителей на объектах ПАО «Газпром»**

*В.В. Першуков*  
(ЗАО «Химсервис»)

С развитием современных технологий появляются новые возможности по оптимизации затрат на обеспечение противокоррозионной защиты. Снижение цен на современные магнетитовые аноды (за счет открытия компанией «Химсервис» полностью российского производства) позволило разработать новый способ их монтажа без использования дорогостоящей спецтехники.

Магнетит является наиболее современным и универсальным анодным материалом, позволяющим выпускать легкие и компактные анодные заземлители. Еще пару лет назад их широкое применение ограничивала высокая цена, обусловленная сложностью изготовления отливок (технология производства сплава достаточно уникальна и требует эксклюзивного оборудования). Поэтому до недавнего времени магнетитовые аноды приходилось изготавливать на основе дорогих импортных отливок из Швеции.

В течение последних лет компании «Химсервис» удалось завершить полную локализацию производства магнетита в России. Новый литейный цех позволил добиться снижения себестоимости и независимости от европейских поставок. Получено заключение Минпромторга о выпуске продукции на территории РФ (использование российских материалов составляет 99 %).

Логичным стал вопрос реализации всех преимуществ магнетитовых заземлителей, а именно их компактного размера и небольшого веса. В результате был разработан способ ручного монтажа анодов без использования спецтехники (патент № 2743823), предполагающий высокую доступность для всех организаций и служб, обеспечивающих эксплуатацию подземных трубопроводов.

В докладе представлены результаты опытно-промышленных испытаний нового способа монтажа анодов в различных регионах России на магистральных трубопроводах и объектах газораспределения.

## **Интеграция новых технологий для защиты от коррозии объектов ГТС**

*Р.Р. Кантюков, Д.Н. Запезалов, Р.Р. Хабибулин  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Одной из функций ООО «Газпром ВНИИГАЗ» как головного исследовательского института ПАО «Газпром» является поиск и адаптация новых технологий для решения текущих и перспективных задач газовой отрасли. Применение новых технологий не является самоцелью, и для их обоснованного применения и интеграции в общую технологическую структуру сложных инфраструктурных объектов ГТС должен быть реализован взаимосвязанный комплекс задач по адаптации и сопровождению в процессе внедрения (в том числе нормативному).

При принятии решений о создании/адаптации/внедрении технологий необходимо учитывать уровень и масштаб соответствия (готовности) объектов ГТС и смежных инфраструктурных объектов к новым решениям. Внедрение технологий должно повышать (не должно снижать) надежность и безопасность объектов ГТС по причине коррозии, обеспечивать сокращение удельных затрат, в том числе затрат времени специалистов на обслуживание и контроль технического состояния оборудования, обеспечивать энергоэффективность новых проектных решений.

Комплексное (взаимоувязанное) плановое вовлечение нескольких технологий может обеспечить мультипликативный эффект с трансформацией комплекса технологий от поддерживающего к прорывному. Рассмотрена реализация такого вида задач применительно к объектам ГТС в рамках мероприятий Комплексной программы повышения эффективности противокоррозионной защиты объектов ПАО «Газпром» на 2021–2026 годы.

## Вопросы ЭМС при реализации ретрофита ячеек РУ 6–35 кВ

*М.В. Воронин*

*(Лаборатория релейной защиты, автоматики  
и автоматизированных систем управления энергетики  
(г. Санкт-Петербург) «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В процессе реализации ретрофита (полная замена старых ячеек распределительных устройств либо замена отдельного, устаревшего оборудования) ячеек РУ 6–35 кВ необходимо уделять внимание вопросу электромагнитной совместимости (ЭМС).

В зависимости от возраста реконструируемых объектов электромагнитная обстановка на них может не соответствовать современным требованиям ЭМС, выполнение которых обеспечит безопасность обслуживающего персонала и нормальное функционирование современных технических средств.

К важным моментам, требующим внимания при ретрофите ячеек РУ 6–35 кВ, относят:

- существующая система заземления (анализ текущего состояния, рекомендации и мероприятия по возможным изменениям);
- существующая система молниезащиты (необходимо убедиться, что существующая система молниезащиты сможет и в дальнейшем эффективно защитить рассматриваемый объект модернизации);
- кабельное хозяйство (учет прокладки дополнительных кабелей по существующим трассам, прокладка новых кабельных трасс).

Анализ требований ЭМС при ретрофите ячеек РУ 6–35 кВ позволяет определить необходимые мероприятия и объемы работ для дальнейшей безопасной работы обслуживающего персонала и электронных технических средств после проведенной реконструкции.

### **ЭХЗ. Новые решения. Персональный подход**

*А.А. Бабкин, В.В. Песков  
(ПАО «Сигнал»)*

ПАО «Сигнал» – одно из ключевых предприятий машиностроительного комплекса юга России, член Союза машиностроителей России. Начиная с 1993 г. завод осуществляет разработку и производство широкой номенклатуры оборудования ЭХЗ.

Имеет собственный аккредитованный в ПАО «Газпром» испытательный центр, проводящий сертификационные, квалификационные, периодические, типовые и другие виды испытаний.

В докладе отражены перспективные разработки предприятия, способные удовлетворить спрос потребителей в высококачественных и эффективных средствах катодной защиты подземных металлических сооружений от электрохимической коррозии, также отражена проделанная работа по модернизации и адаптации общепринятого классического оборудования. Сформулированы основные тенденции развития.



## Современные решения для систем ЭХЗ и коррозионного мониторинга производства АО «Энергомера»

*И.В. Лыгин, А.В. Захаров  
(АО «Энергомера»)*

В докладе приведены итоги исследований:

- влияния пульсаций выходного напряжения станции катодной защиты на защиту объектов от коррозии;
- режима работы станции катодной защиты в состоянии обрыва цепей нагрузки.

Проведена работа в рамках уточнения требований и формирования методики измерения входного сопротивления цепей электрода сравнения.

Описаны новинки оборудования ЭХЗ для ГТС, в частности, универсальный блок трехфазного подключения, шкаф КИП ЭХЗ, шкаф анодного заземления.

Подробно изложена позиция компании в части формирования единой системы «коррозионный мониторинг = станции катодной защиты АО «Энергомера».

В завершении приведена политика АО «Энергомера» в области выполнения требований ПАО «Газпром» к оборудованию ЭХЗ.

## **Ремонт магистральных газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением**

*И.В. Ряховских, А.А. Каверин, Р.В. Кашковский, В.П. Столов,  
С.И. Погуляев (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
А.А. Селиванов, А.В. Сахон (ПАО «Газпром»)*

Разработана, стандартизирована и внедрена ресурсосберегающая технология ремонта магистральных газопроводов (МГ), подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН), основанная на продлении ресурса труб с незначительными повреждениями КРН ( $\geq 40$  % от общего объема труб) вместо традиционной сплошной замены дефектных труб новыми трубами или трудоемкой вышлифовки малых дефектов. Для восстановительного ремонта защитных покрытий внедрен материал со специальным органическим ингибитором, гарантирующим исключение развития незначительных дефектов и образование новых повреждений КРН. Разработанный алгоритм принятия решений включает классификацию труб с КРН по сформулированным авторами критериям, неразрушающий и дефектометрический контроль труб по оригинальной методике, требования к восстановлению защитного покрытия, рекомендации по выбору покрытия и процедуру мониторинга МГ с применением внутритрубных снарядов-дефектоскопов. Технология базируется на результатах собственных исследований авторов, оборудовании и материалах исключительно отечественного производства.

Для исключения рисков повторного развития КРН авторами предложено, запатентовано и реализовано на практике покрытие трассового нанесения со специальной ингибирующей добавкой в составе грунтовки. На базе разработанного комплекса инноваций нормативно закреплён новый алгоритм принятия решений о ремонте, разработана технология трассового ремонта МГ, подверженных КРН, на основе исследований прочности металлов и конструкций из них, связи структуры металла со свойствами и физико-химическими процессами разрушения сталей. Технология стандартизирована и внедрена в ПАО «Газпром».

Экономический эффект от внедрения результатов был подтвержден при ремонте объектов ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» (20,5 млн руб./км), что соответствует снижению на 49 % операционных затрат при ремонте МГ  $\varnothing 1420$  мм, кроме того доказано снижение экологического ущерба от внедрения технологии.

## СЕКЦИЯ Д РЕКОНСТРУКЦИЯ ГТС

### **Анализ вариантов применения электроприводных газоперекачивающих агрегатов на объектах добычи в рамках реализации европейской политики декарбонизации производств**

*Д.М. Ляпичев, Д.Е. Матюха, Е.А. Черникова  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»).*

На сегодняшний день проблема изменения климата приобретает глобальный масштаб. Одним из главных факторов, оказывающих негативное влияние на климат планеты, является эмиссия углекислого газа (CO<sub>2</sub>).

В связи с этим технологии улавливания и захоронения углекислого газа признаны критически важными для сдерживания негативного влияния на климат, а также достижения углеродной нейтральности, курс на которую был объявлен Президентом РФ В.В. Путиным на Российской энергетической неделе в 2021 г.

В докладе рассмотрены технологии и технические решения, которые являются актуальными с точки зрения экологии, ресурсосбережения и экономической выгоды. Их применение позволит снизить объем выбросов CO<sub>2</sub> и плату за них.

В работе произведены оценка технической возможности и формирование концепции применения газоперекачивающих агрегатов (ГПА) с электроприводом на дожимных компрессорных станциях (ДКС) на установках комплексной подготовки газа (УКПГ) с сопутствующим вводом газовой электростанции комбинированного цикла, оборудованной установкой улавливания углекислого газа.

Для выполнения данного проекта был проведен сравнительный анализ технико-технологических показателей вариантов оснащения ДКС ГПА с односекционными и двухсекционными центробежными компрессорами (ЦБК), газотурбинным и электроприводом различной единичной мощности.

В работе определены базовый и альтернативный варианты оснащения ДКС ГПА. Отмечены положительные и отрицательные стороны этих вариантов.

Выполнен краткий анализ воздействия на окружающую среду для различных вариантов оснащения ДКС и анализ стоимости реализации каждого из них, включая операционные и капитальные затраты.

В результате проведенной работы выявлено следующее:

- с точки зрения снижения выбросов парниковых газов наиболее перспективным является вариант с использованием электроприводных ГПА, работающих от ЦЭС, оборудованной установкой улавливания CO<sub>2</sub>;
- с точки зрения суммарных дисконтированных затрат приоритетным является вариант с использованием ГПА с газотурбинным приводом.

## **Разработка способов обнаружения и локализации источников небаланса газа в газотранспортной системе**

*Д.Е. Матюха*  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

Согласно годовому отчету ПАО «Газпром» в настоящее время в мире наблюдается повышение потребления природного газа. Внутреннее потребление газа в Российской Федерации за период с 2017 по 2021 гг. увеличилось с 468 до 516,1 млрд м<sup>3</sup>. С 2021 по 2040 гг. ожидается повышение потребления природного газа в мире с 4200 до 5100 млрд м<sup>3</sup>.

ПАО «Газпром» проводит работы по реализации проекта «Восточная система газоснабжения», в рамках которого будут обеспечены поставки газа потребителям Дальнего Востока и регионов Восточной Сибири, организован новый канал экспорта природного газа в страны Азиатско-Тихоокеанского региона, что приведет к дальнейшему повышению объемов транспортировки газа внутри страны и в новом экспортном направлении.

При транспортировке газа по системе магистральных газопроводов в газотранспортных обществах ежедневно производится формирование отчетов о балансе газа в границах газотранспортных систем (далее – ГТС), в которых наблюдаются как положительные, так и отрицательные величины балансов газа.

В настоящее время газотранспортные организации являются заложниками ситуации возникновения небаланса газа в единой системе газоснабжения (далее – ЕСГ) в связи с отсутствием нормативной величины допустимого небаланса газа в системе и отсутствием единых подходов к обнаружению и локализации источников небаланса газа в ЕСГ.

В работе представлены способы обнаружения и локализации источников небаланса газа в системе.

На первом этапе производится оценка величины небаланса газа с применением критерия качественной оценки величины небаланса поступления и распределения газа в системе.

На втором этапе выполняется локализация источников небаланса газа внутри ГТС с применением виртуальных узлов учета газа.

На третьем этапе производится поиск источника небаланса газа с применением критериев достоверности измеренных значений расхода газа.

Использование изложенных подходов позволит повысить обоснованность принятия решений при локализации источников небаланса газа, что приведет к повышению эффективности систем трубопроводного транспорта газа.

## **Технико-технологические особенности реконструкции компрессорных станций в современных условиях**

*Д.М. Ляпичев, С.С. Михеев, В.А. Щуровский  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В настоящее время на объектах ПАО «Газпром» 4672 газоперекачивающих агрегата (ГПА) суммарной установленной мощностью 54,4 МВт. Основная часть газоперекачивающего оборудования сосредоточена на компрессорных станциях магистральных газопроводов – 47,6 млн кВт (3916 ед.).

Основная часть парка ГПА выработала назначенный ресурс и эксплуатируется в режиме постоянного продления ресурса с применением «поузловой реновации» ГПА. При этом в ряде случаев имеют место организационные, методические и технические трудности поддержания технического состояния оборудования, что приводит к продолжительному простоям и снижению коэффициента технического использования данного оборудования.

При этом значительная часть парка длительно эксплуатируемых ГПА характеризуется низкими показателями эффективности и технического состояния по мощности, что в настоящее время приводит к перерасходу топливного газа и, как следствие, снижению эффективности транспорта газа.

Учитывая вышесказанное, а также высокую стоимость топливно-энергетических ресурсов на рынке и повышение мировых требований к экологической эффективности, необходимость внедрения мероприятий, повышающих эффективность оборудования актуальна в настоящее время.

В докладе рассмотрены основные направления повышения эффективности работы компрессорных станций при реконструкции, определен комплексный подход к реконструкции с позиции ожидаемого перспективного снижения загрузки газотранспортных мощностей по одним направлениям и гарантируемой максимальной загрузки по направлениям транспортировки этаносодержащего газа до перерабатывающих комплексов.

## **Особенности анализа техногенных рисков при обосновании размещения магистральных газопроводов в пятой подзоне приаэродромных территорий**

*Г.Ю. Чуркин, Н.Н. Таланова  
(АНО «Агентство исследований промышленных рисков»)*

Анализ проектов об установлении приаэродромных территорий (ПАТ) аэродромов гражданской авиации показывает, что в утвержденных проектах вводимые ограничения для пятой подзоны детализированы недостаточно. В общем случае можно отметить несогласованность и непроработанность вводимых ограничений в пятой подзоне ПАТ, в том числе отсутствие четких критериев, которые позволили бы оценить наличие или отсутствие влияния функционирования ОПО на безопасность полетов воздушных судов (ВС).

Актуальной задачей является легализация применения риск-ориентированного подхода, так как в большинстве случаев уменьшение максимальных зон аварий на магистральных газопроводах (МГ) таким образом, чтобы траектории взлета, посадки и маневрирования ВС не пересекали эту зону, является невыполнимым условием.

Как показала практика, применение в качестве критериев безопасности значений индивидуального и коллективного риска, по аналогии с подходом, принятым в области промышленной и пожарной безопасности, не в полной мере удовлетворяет требованиям обеспечения безопасности полетов ВС. В связи с этим на текущий момент предлагается установить критерии допустимого риска воздействия аварий от ОПО на безопасность воздушных судов на базе действующих целевых уровней безопасности в области авиационной безопасности, установленных в законодательных актах в сфере авиационной безопасности, с дальнейшим закреплением их также на уровне подзаконного законодательного акта.

Параллельно специалистами ГК ПБ прорабатываются методические подходы к оценке риска аварий на магистральных газопроводах в пределах пятой подзоны ПАТ, учитывающие как специфику расчетов зон действия поражающих факторов с учетом вертикальной составляющей, так и условия полетов ВС в пределах ПАТ (траектории маршрутов полетов ВС и их протяженность, высоту пролета, пассажиропоток аэродрома и др.).

## **Шельфовые проекты РФ. Оценка эффективности системы аварийно-спасательного обеспечения**

*Л.А. Копаева, Т.И. Лаптева, М.Н. Мансуров, С.В. Ганага  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
А.В. Морозов (ООО «Газпромнефть-Гео»)*

Реализация шельфовых проектов Российской Федерации добычи, хранения, переработки и транспортировки углеводородов является одним из наиболее опасных видов человеческой деятельности.

Огромные расстояния, сложные природно-климатические условия, неразвитость региональной системы реагирования на чрезвычайные ситуации затрудняют своевременное осуществление необходимых действий, и за короткое время сравнительно небольшая авария, в частности, на морских трубопроводных системах, может перерасти в катастрофу.

К актуальным аспектам дальнейшего развития системы аварийно-спасательного обеспечения (АСО) следует отнести разработку требований к качеству системы АСО, показателям эффективности проводимых системой АСО операций. Проблема оценивания и оценки качества имеет большое значение. Качество системы АСО проявляется в процессе ее функционирования, а также в процессе проведения запланированных учений и тренировок. Результаты объективного оценивания качества системы АСО непосредственно влияют на уровень обеспечения безопасности.

Новизна представленной работы заключается в использовании методов статического анализа при оценке качества системы АСО на море, что в дальнейшем послужит методологической основой при разработке комплекса нормативных документов и положений, имеющих практическое значение.

## Применение цифровых технологий при реконструкции систем управления ГТС

*В.Е. Столяров, Н.А. Еремин, Е.А. Сафарова  
(ИПНГ РАН)*

Цифровая экономика рассматривается как ключевой элемент развития национальной экономики на основе внедрения интеллектуальных технологий, где основой будет снижение себестоимости и оперативность принятия решений на основе больших данных, технологической безопасности и роли персонала.

Это предполагает проектирование и внедрение подходов, формирование ряда документов по техническому регулированию.

Системы управления с входящими в газотранспортную систему магистральными газопроводами будут переоснащены с применением самых перспективных отечественных технологий на основе технологий:

- искусственного интеллекта с использованием нейросетей, машинного обучения для диагностики и обнаружения утечек; прогнозирования состояния оборудования и моделей;
- цифровых двойников для построения информационных моделей объектов и инфраструктуры, оптимизации процессов с учетом загруженности и наличия свободных мощностей и ресурсов;
- распределенного реестра за счет децентрализации расчетов транспортных нагрузок; обеспечения наличия и защищенности информации при создании отраслевых центров мониторинга задач;
- корпоративных хранилищ данных для распределения информационных мощностей по работе объектов газотранспортной системы, обеспечения возможности расчета потоков и ресурсов;
- структур больших данных для конфигурации онлайн-данных для использования системами управления, снижения рисков и организации эксплуатации с учетом фактического состояния оборудования, загрузки транспортной системы и компетенций;
- промышленного интернета и беспроводной связи, спутниковых и облачных технологий, видеоаналитики; применения БПЛА, мобильных операторов для мониторинга и оценки проведения работ и ряда др. технологий, снижающих влияние человеческого фактора и энергозатраты на поставку сырья, продукции согласно контрактам.

Первоначальным этапом является применение систем с изменением роли персонала, а затем интеграция интеллектуальных систем и роботизация с обязательным моделированием транспортной загрузки потоков при наличии свободных мощностей; снижение энергетики транспорта и масштабирование решений.



## **Проблемные вопросы и ошибки при разработке обоснований безопасности опасных производственных объектов газотранспортных систем**

*А.Н. Бронников (ПАО «Газпром»),  
И.Г. Волынец, А.Б. Докутович, С.В. Овчаров,  
Ю.Ю. Петрова, Ю.В. Гамера (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В докладе отражен опыт проведения ООО «Газпром ВНИИГАЗ» корпоративных экспертиз обоснований безопасности (ОБ) опасных производственных объектов (ОПО) газотранспортных систем (ГТС), разрабатываемых по заказу дочерних обществ ПАО «Газпром». ОБ ОПО – документ, разрабатываемый в случаях, если на различных этапах жизненного цикла ОПО требуется отступление от требований промышленной безопасности, установленных федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности (ФНиП ПБ), таких требований недостаточно и (или) они не установлены. ОБ должно содержать результаты оценки риска аварий на ОПО, условия его безопасной эксплуатации и требования к эксплуатации, капитальному ремонту, консервации и ликвидации ОПО.

В последние годы ОБ ОПО начали в массовом порядке разрабатываться на действующие объекты ГТС ПАО «Газпром», относящиеся к категории ОПО I и II классов опасности, на которых имеются нарушения требований СП 36.13330-2012 «Магистральные трубопроводы» в части минимальных расстояний от объектов магистральных трубопроводов (МТ) до сторонних объектов (населенных пунктов, промышленных предприятий и т.д.) при недостаточности соответствующих требований по безопасным расстояниям и других требований ПБ в профильных ФНиП ПБ. При этом разработчиками ОБ допускаются ошибки при проведении анализа риска аварий на объектах МТ, при выборе компенсирующих мероприятий и разработке технических решений по их реализации, приводящие к необоснованным выводам в ОБ о безопасности ОПО ГТС, что чревато катастрофическими последствиями при их дальнейшей эксплуатации. Кроме того, имеются случаи некорректной трактовки законодательных норм в отношении обоснованности необходимости разработки ОБ, нормативных требований и рекомендаций по структуре, содержанию, оформлению ОБ.

Обсуждению этих вопросов и их решению посвящен представляемый доклад.

## **Методологические основы мониторинга технического состояния магистральных газопроводов при нестационарных режимах работы**

*Д.М. Ляпичев (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
А.С. Лопатин (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)*

Неравномерность потребления топливно-энергетических ресурсов является объективной особенностью народного хозяйства. Газовая промышленность не является исключением: неравномерность газопотребления обуславливает необходимость неустанного оперативного управления работой систем газоснабжения. Для покрытия неравномерности газопотребления эксплуатирующими организациями изменяются режимы работы технологического оборудования объектов транспорта и хранения газа, входящих в систему газоснабжения. При таком регулировании система газоснабжения в сжатые сроки переходит из одного квазистационарного состояния в другое, при переходе между этими состояниями протекает множество нестационарных процессов, реализация которых требует привлечения дополнительных ресурсов.

Режимы работы магистральных газопроводов и внешние условия переменны во времени, что обуславливает изменение технического состояния технологического оборудования и трубопроводов и, как следствие, влияет на надежность и эффективность эксплуатации газотранспортных систем.

Отечественная система эксплуатации, диагностического, технического обслуживания и ремонта объектов транспорта газа была сформирована в конце прошлого века и основывается на накопленном в середине XX в. опыте и возможностях существовавших тогда технологий. Широкое внедрение современных, в том числе безлюдных технологий во всех отраслях промышленности, в том числе в нефтегазовой, обуславливает необходимость создания научно обоснованной методологии их применения.

В работе приводятся результаты разработки научных основ мониторинга технического состояния объектов магистральных газопроводов, эксплуатирующихся при нестационарных режимах работы. Показывается влияние неравномерности газопотребления на режимно-технологические параметры газотранспортных систем, приводящее к дополнительному расходу топливно-энергетических ресурсов и росту затрат на техническое обслуживание и ремонт, приводятся разработанные подходы к оценке влияния неравномерности газопотребления, обосновывается необходимость развития методов и средств непрерывного автоматического мониторинга газопроводов. В работе представлены цели и задачи мониторинга в рамках систем эффективного управления активами предприятий, сформулированы принципы построения систем мониторинга, показаны методы оптимизации количества и расположения средств измерения в системах мониторинга, научно обоснованы подходы к обработке и использованию данных мониторинга технического состояния для предиктивной аналитики.

## **Применение риск-ориентированного подхода при оценке степени опасности объектов нефтегазового комплекса**

*И.Г. Волынец, Ю.Ю. Петрова, Ю.В. Гамера,  
А.Б. Докитович, С.В. Овчаров  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В последнее время существенно возросла потребность в проведении многосторонней оценки риска на опасных производственных объектах (ОПО) ПАО «Газпром», проводимой на различных этапах их жизненного цикла (предпроектные исследования, проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция, ликвидация), а также детального математического моделирования последствий потенциальных аварий на данных объектах с целью обеспечения выполнения требований надзорных органов, что в свою очередь связано с активно используемым на федеральном уровне риск-ориентированным подходом, в частности, Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), для регулирования требований промышленной безопасности ОПО. При этом, учитывая динамично развивающиеся задачи, решаемые ПАО «Газпром», с одной стороны, и постоянно растущие требования надзорных контролирующих органов, с другой, периодически возникает потребность как в разработке новых математических моделей для моделирования поражающих факторов потенциальных аварий на перспективных производственных объектах ПАО «Газпром», так и в совершенствовании уже существующих, в том числе и балльно-факторных методик, для оценки ожидаемых частот.

В докладе рассмотрены результаты и проблемные вопросы применения анализа риска в наиболее актуальных для ПАО «Газпром» задачах, таких как: выбор компенсирующих мероприятий на участках магистральных газопроводов (МГ) с нарушениями минимальных расстояний при разработке обоснований безопасности и разделов проектной документации; оценка границ безопасных коридоров и высот пролета воздушных судов вблизи МГ; оценка взрывоустойчивости зданий и сооружений на площадочных объектах; оценка степени аварийной опасности участков МГ при проведении испытаний на прочность с учетом эффекта эскалации.

**Турбокомпрессорный агрегат хладагента установки  
по производству СПГ «Арктический каскад»  
ТЛ-4 ОАО «Ямал СПГ»**

*О.Е. Васин  
(ПАО «НОВАТЭК»)*

Одной из наиболее актуальных задач, стоящих на сегодняшний день перед нефтегазовой отраслью, является разработка на базе российского оборудования оригинальной отечественной технологии производства СПГ. Особую значимость она приобретает на фоне продолжающегося и даже усиливающегося санкционного давления, рассчитывать на отмену которого в ближайшей перспективе вряд ли приходится.

В числе основных предпосылок для перехода на российскую технологию крупнотоннажного производства СПГ следует выделить в первую очередь критический уровень импортозависимости традиционных технологий, что делает их крайне подверженными целому ряду серьезных рисков как ценовых (вследствие изменения соотношений курсов национальных валют), так и санкционного характера, повлиять на которые не представляется возможным. Кроме того, предлагаемые на рынке импортные технологии производства СПГ, по сути, являются универсальными и не учитывают климатических условий в месте установки заводов СПГ, что значительно (особенно для районов Крайнего Севера РФ, где располагается основная ресурсная база) снижает их эффективность и значительно повышает затраты на их реализацию.

Принимая во внимание вышеизложенное, а также в целях обеспечения импортонезависимости нефтегазовой отрасли и энергетической безопасности России, в ПАО «НОВАТЭК» начиная с 2016 г. ведется активная работа по разработке, апробации и реализации отечественной технологии производства СПГ «Арктический каскад». Данную технологию целесообразно применять при среднегодовых температурах ниже +5 °С.

Однако для практического внедрения «Арктического каскада» потребовалось разработать и изготовить уникальную компрессорную установку, с помощью которой производится сжатие семи различных газов одновременно (природного газа, азота и этана пяти различных параметров). Реализация предлагаемой схемы на трех автономных компрессорных установках привела бы не только к серьезному усложнению и удорожанию самой конструкции блока компрессоров, но и значительно снизила бы надежность работы установки по производству СПГ в целом.

В результате проведенного анализа возможных путей реализации было принято оригинальное и ранее не применявшееся в отрасли решение разработать и применить интегрированную установку с приводом всех семи компрессоров от одного газотурбинного двигателя мощностью 25 МВт через многовальные мультипликаторы, передовой опыт применения которых уже имелся в ПАО «НОВАТЭК».

Такая установка была сконструирована и изготовлена в АО «Казань-компрессормаш» (г. Казань) и успешно прошла комплекс стендовых приемо-сдаточных испытаний в полном объеме.

В соответствии с планами ПАО «НОВАТЭК» установка по производству СПГ «Арктический каскад» производительностью порядка 0,8 млн т в год была успешно введена в работу в декабре 2021 г. и на текущий момент отработала порядка 15000 ч. По результатам анализа опыта эксплуатации оборудования в отчетный период можно сделать вывод о надежности и эффективности предложенных технических решений, а также разработать мероприятия по их усовершенствованию.

С большой долей вероятности можно утверждать, что, несмотря на возможность и целесообразность применения одноприводной кинематической схемы с использованием интегрированных компрессорных установок на базе многовальных мультипликаторов для мощности до 25 МВт, ее использование в установке 50 МВт не столь однозначно и подлежит дополнительному рассмотрению и обоснованию.

## Перспективные ЭГПА от 4 до 32 МВт на базе высокоскоростных электродвигателей

*С.Н. Утробин*  
(АО «Атомэнергомаш»)

1. Высокоскоростные двигатели АД-4000-4 (КЖРУ.528125.001ТУ) «ОКБМ Африкантов» (г. Нижний Новгород) для применения в составе ЭГПА. Описание. Устройство. Основные характеристики. Опыт эксплуатации. Трехфазный асинхронный высокоскоростной электродвигатель с короткозамкнутым ротором.

2. Линейка вентильных электродвигателей от 5 до 32 МВт разработки АО «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова».

Устройство и особенности конструкции. Сравнение с традиционными решениями.

Предлагается к рассмотрению линейка электроприводов для ЭГПА мощностью 16, 25 и 32 МВт и скоростью вращения 7000 об/мин на основе машин с возбуждением от постоянных магнитов.

По этим двигателям проведены оценочные электромагнитные полевые расчеты, расчеты тепловых режимов и расчеты механических напряжений в роторах машин. Результаты расчетов подтверждают возможность технической реализации предложенных электроприводов.

3. Герметичный ЭГПА на базе гелиевого компрессора 6 МВт разработки «ОКБМ Африкантов».

Описание, особенности конструкции. Возможность применения для перекачки природного газа и водородсодержащего газа.

ГЦК представляет собой вертикальный герметичный центробежный трехступенчатый агрегат, состоящий из следующих основных элементов: электродвигатель, проточная часть, корпус, электромагнитный подвес, ротор, страховочные подшипники.

## Разработка компрессорного оборудования для магистральных газопроводов нового поколения

*И.В. Николаенко*  
(АО «НИИТурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа»)

Решением проблем надежности и энергоэффективности является применение ЭГПА нового поколения, герметичных высокоскоростных ЭГПА на магнитных подшипниках с частотным регулированием работы электропривода.

Применение высокоскоростных электродвигателей позволяет достичь высокого КПД компрессора, а применение преобразователей частоты (ПЧ) для автоматического регулирования скорости привода позволяет реализовать энергосберегающие режимы.

Для создания и поддержания продукции, конкурентоспособной на современном рынке, необходимо обеспечить совершенствование проектируемых нагнетателей по следующим основным направлениям:

- повышение эффективности (КПД) ступеней;
- оптимизация массогабаритных показателей нагнетателей;
- повышение надежности и снижение эксплуатационных затрат нагнетателей.

Цель: создание быстроходного центробежного газового компрессора с осевым входом и осерадиальным рабочим колесом, с повышенным политропным КПД до 90 %. Новизна: быстроходный центробежный нагнетатель природного газа на магнитных опорах с осевым входом и интегрированным генератором собственных нужд.

Преимущества разрабатываемого нагнетателя:

- универсальный корпус сжатия и опора ротора;
- входная камера с осевым подводом;
- высокоэффективное рабочее колесо осерадиального типа;
- выходная камера переменного сечения;
- система магнитных подвесов;
- система разгрузки осевых усилий.

Особенности ЭГПА с быстроходным центробежным газовым компрессором: герметичное исполнение с высокоэффективной проточной частью; встроенный высокооборотный взрывозащищенный электродвигатель на магнитных подшипниках с охлаждением перекачиваемым газом; исполнение компрессора для эксплуатации на открытых площадках. Также указанная конструкция компрессора открывает перспективу создания герметичного компрессора для работы в составе подводных дожимных компрессорных станций. Назначение – создание приращения давления предварительно подготовленному газовому потоку с последующим охлаждением и смешением с газовым конденсатом для возможности транспорта всей добываемой углеводородной смеси с требуемой производительностью по магистральному трубопроводу на береговые технологические объекты.

## Расчет компрессорного отбора газа на ПХГ

*М.Г. Гилязиев, А.А. Михайловский  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Компрессорный отбор газа из ПХГ осуществляется в целях увеличения производительности, особенно к концу периода отбора и глубины отбора газа из пласта, когда давление в пласте снижается и не позволяет обеспечить требуемый уровень суточной производительности.

Для целого ряда ПХГ компрессорный отбор является относительно новым технологическим процессом, так как при проектировании предполагалось использование компрессорного оборудования лишь при закачке газа в пласт. В связи с этим задача достоверной расчетной оценки параметров технологического режима при компрессорном отборе газа из ПХГ является актуальной и практически значимой.

Предложен алгоритм оценки технологических режимов ПХГ в период отбора газа на основе учета газодинамических характеристик компрессоров.

В предложенном алгоритме оценка рабочих параметров производится одновременно на всех участках цепи – от пласта до магистрального газопровода.

Расчет реализован на основе решения системы нелинейных алгебраических уравнений, описывающих движение газа и закон сохранения массы для каждого участка ПХГ, а также уравнений, аппроксимирующих газодинамические характеристики компрессоров.

Предложенный алгоритм позволяет повысить точность прогнозных расчетов технологических режимов компрессорного отбора на ПХГ, а также оценить корректность полученных режимов технологической эксплуатации ПХГ на основе рабочих параметров компрессоров.



**Вклад политехнической научной школы  
турбокомпрессоростроения в развитие компрессорной техники  
для ПАО «Газпром» (к 90-летию проф. Ю.Б. Галеркина)**

*А.Ф. Рекстин  
(Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого)*

Политехническая компрессорная научная школа берет начало с создания единственной в мире компрессорной кафедры в 1930 г. Большое развитие компрессорной науки обеспечила работа Проблемной лаборатории компрессоростроения ЛПИ (1957–1991 гг.). На основании уникальных экспериментов Ю.Б. Галеркин сформулировал идеи инженерного метода оптимального проектирования и расчета центробежных компрессоров. В середине 1990-х гг. его команда разработала г/д проекты центробежных компрессоров нового поколения с безлопаточными диффузорами для ПАО «Газпром», реализованные АО «Компрессорный комплекс (СПб)», АО-НПО «Искра» (Пермь), СМПО им. М.В. Фрунзе (Сумы). Коллектив авторов во главе с зам. пред. ПАО «Газпром» П.Н. Родионовым в органе Совета министров РФ оценил увеличение среднеэксплуатационного КПД этих машин в +4 %. Создание новой техники для газовой промышленности продолжается. С 2005 г. все турбодетандерные агрегаты АО «ТУРБОХОЛОД» используют центробежные компрессоры команды Ю.Б. Галеркина (более 20 типоразмеров). Всего в ПАО «Газпром» работают примерно 450 ЦК с установленной мощностью 5,5 млн кВт по проектам методом универсального моделирования. Вклад команды Ю.Б. Галеркина в создание компрессорной техники отмечен премией им. В.Б. Шнеппа АН Татарстана и НИИТК им. В.Б. Шнеппа.

Значительное развитие получила прикладная наука турбокомпрессоростроения. За последние годы сотрудники научной группы Ю.Б. Галеркина защитили 4 кандидатских и 3 докторских диссертации. Сейчас этот коллектив – наиболее квалифицированный в области газовой динамики турбокомпрессоров. Контакты с подразделениями ПАО «Газпром» показывают значительную потребность в выполнении аналитических исследований и конкретных газодинамических проектов мощных ЦК для современных газопроводов. Политехническая научная школа турбокомпрессоростроения готова к решению этих задач.

**Политехническая научная школа турбокомпрессоростроения.  
Опыт и предложения по проектированию компрессоров  
газовой отрасли**

*Ю.Б. Галеркин, А.А. Дроздов, А.Ф. Рекстин, В.Б. Семеновский,  
О.А. Соловьёва, Л.Н. Маренина, А.В. Махонин  
(Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого)*

Инженерные методы проектирования, основанные на результатах обобщения и анализа экспериментальных данных и положениях газовой динамики, широко применяются в практике проектирования центробежных компрессоров. Одним из таких успешно применяемых и хорошо зарекомендовавших себя методов является разработанный в СПбПУ метод универсального моделирования. При его помощи разработаны более 50 типов компрессоров суммарной мощностью более 5 млн кВт. Математические модели, лежащие в основе метода универсального моделирования, развиваются и совершенствуются по мере накопления знаний и опыта и при возникновении необходимости учета различных факторов. В докладе представлено современное состояние математической модели.

Рассмотрены примеры применения инженерного метода оптимального газодинамического проектирования для создания центробежных компрессоров. Представлен опыт проектирования компрессоров ТДА, практика применения безлопаточных диффузоров в этих объектах, уровень повышения КПД по сравнению с заданным по ТЗ. Экспериментальные исследования подтвердили совпадение заявленных при проектировании газодинамические характеристик с измеренными с достаточной для инженерных методов точностью.

Представлены примеры расчета компрессоров ГПА в интересах реконструкции существующей инфраструктуры и в рамках решения вопроса импортозамещения зарубежного компрессорного оборудования.

Показана возможность повышения КПД компрессоров ГПА при повышении числа оборотов привода (турбины или электродвигателя). Представлены некоторые соображения по поводу выбора типа рабочего колеса и диффузора для получения максимального КПД ступени.

# КРУГЛЫЙ СТОЛ 1

## «ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО ГТС»

### Дистанционный контроль и оптимизация режимов работы объектов ПКЗ ГТС: возможности и ограничения

*Д.Е. Мансуров, Д.Н. Запевалов, И.Ю. Копьев*  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

Стратегическим направлением развития систем защиты от коррозии является один из основных трендов современности – цифровая трансформация производственных процессов.

В основе любой информационно-управляющей системы лежит достоверность сформированных цифровых ресурсов, а также скорость передачи и обработки данных.

Получение заметного экономического эффекта от внедрения цифровых технологий возможно лишь при условии охвата значительных масштабов внедрения оборудования дистанционного контроля (управления) и обеспечения полноценного потока цифровых данных, необходимых для функционирования алгоритмов математических моделей оптимизации.

Среди известных в настоящее время систем дистанционного контроля (управления) рассмотрены устройства GSM и LPWAN телеметрии, а также разрабатываемый в настоящее время ООО «Газпром ВНИИГАЗ» механизм бесконтактной передачи данных на основе NFC-технологий.

Для оперативного выполнения поставленных задач по цифровой трансформации производства, в объемах, пригодных для промышленного применения, представляется оптимальным построение комплексных систем формирования цифровых данных оборудования противокоррозионной защиты и реализация оптимизационных алгоритмов с целью получения реального экономического эффекта.

Рассмотрены перспективы реализации алгоритмов оптимизации систем ЭХЗ с применением современного оборудования дистанционного контроля, а также ограничения, возникающие при решении задач цифровой трансформации на объектах ПАО «Газпром».

## СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

### **Эффективные методы предпусковой очистки и осушки магистральных газопроводов в сложных условиях с использованием жидкостных пробок**

*Н.Н. Голунов, О.В. Бочарникова  
(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)*

Магистральные газопроводы – важные объекты энергетической инфраструктуры, которые обеспечивают транспортировку газа на большие расстояния. При строительстве новых газопроводов и вводе их в эксплуатацию необходимо провести ряд работ, в том числе предпусковую очистку и осушку. Эти мероприятия направлены на обеспечение безопасности и эффективности работы газопровода. Несоблюдение данных процедур может привести к аварийным ситуациям, повреждению оборудования и потере газа.

Основными методами очистки и осушки магистральных газопроводов являются: осушка газа с использованием адсорбентов (силикагель, алюминиевый оксид); применение вакуумной технологии для удаления влаги и газа из газопровода; пропускание инертных малоактивных газов через газопровод; применение пенополиуретановых поршней, пропитанных раствором метанола (RU 2716801, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»); применение технологии жидкостных пробок с использованием моноэтиленгликоля (МЭГ)  $C_2H_6O_2$  или метанола  $CH_3OH$ .

Применение технологии с использованием жидкостных пробок – это один из наиболее современных методов для осушки, предотвращения коррозии и замерзания газопровода (образование гидратов). Этот метод основан на использовании МЭГ или метанола в качестве жидкости, которая заполняет газопровод путем ее ввода между двумя подвижными ограничительными поршнями, перемещающимися под действием газа. Преимущества использования жидкостных пробок включают быстроту процесса, возможность использования на длинных участках газопроводов, что также позволяет значительно сократить затраты на обслуживание газопроводов и увеличить их эффективность.

Таким образом, небольшое количество МЭГ или метанола между двумя подвижными поршнями способно поглотить влагу из газопровода. Количество таких пробок зависит от длины участка газопровода, рельефа местности и количества влаги в газопроводе. Этот метод является одним из наиболее эффективных и широко применяемых в практике предпусковой очистки и осушки магистральных газопроводов.

## **О применении новых сталей для развития газопроводной инфраструктуры**

*Н.Н. Голунов, Р.А. Субботин  
(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)*

Начиная с конца 1960-х – начала 1970-х гг. по мере освоения газовых месторождений Западной Сибири развивались и совершенствовались методы и требования к производству и использованию трубных сталей для строительства трубопроводной инфраструктуры транспортировки природного газа.

Одним из важных критериев механической надежности трубной продукции большого диаметра является класс прочности, оцениваемый как временное сопротивление от механического напряжения на разрыв. Реализация крупных трубопроводных проектов, накопление строительного и эксплуатационного опыта (требования к химическому составу и структуре сталей, ударной вязкости, стойкости к растрескиванию, качеству сварных швов), рост внутритрубного давления – все это привело к тому, что за последние 30–40 лет класс прочности вырос с К34 до К60.

Современные трубопроводные проекты уже построены в таких климатических условиях, когда традиционные трубные стали в полной мере не гарантируют надежной эксплуатации на всем жизненном цикле, что требует поиска новых технологических решений и научно-инженерных направлений исследований.

Среди основных тенденций при реализации новых (в Арктике, Восточной Сибири) и перспективных (в горно-пустынных местностях) трубопроводных проектов можно отметить следующие: рост величины давления перекачки свыше 12,0 МПа, абсолютные отрицательные температуры окружающей среды ниже  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , значительная ветровая и снеговая нагрузка (при надземной прокладке), влияние квазипостоянных отрицательных температур водной среды, сложно прогнозируемая ледовая обстановка.

Для таких проектов, в том числе для газораспределительных централизованных или локальных сетей, целесообразно рассматривать не только производство трубных сталей класса прочности К65 и К80, но также производство композитных и аддитивных материалов (би- и триметаллы, наноструктурированные стали и сплавы, сочетание композиций металлов и неметаллов), устройств 3D-печати готовых изделий, обладающих высокой коррозионной стойкостью и прочностью.

## **Использование RCM- и RBIM-анализа при организации технического обслуживания газопроводов с антикоррозионными покрытиями**

*Г.И. Вышегородцева  
(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)*

При эксплуатации объектов встает задача выбора рациональной концепции технического обслуживания и ремонта, которая позволит обеспечить безаварийную и надежную работу объектов ГТС.

При организации проверок и технического обслуживания газопроводов с антикоррозионным покрытием целесообразно использовать совместно процедуры RBIM-, RCM- и FMEA-анализа, так как они ориентированы на разработку процедуры выявления и предотвращения отказов, но при этом рассматриваются различные аспекты эксплуатации.

Поскольку RCM- и RBIM-анализ предполагают на первом этапе определение коренных причин (базовых событий) отказов или повреждений, следует построить дерево отказов (неисправностей), определить основные отказы, связанные с состоянием антикоррозионных покрытий, и их влияние на работоспособность газопровода. Процедурой FMEA-анализа предусмотрены два вида такого анализа: структурный (на уровне структурных элементов объектов) и функциональный (на уровне системы), рекомендуется провести оба вида, поскольку они необходимы для проведения RBIM- и RCM-анализа.

Далее выявленные отказы необходимо ранжировать в зависимости от вероятности возникновения опасных последствий, к которым может привести данное событие, построить матрицу рисков.

Для отказов, попавших в зону опасного риска, с помощью методологии RBIM (организация проверки и технического обслуживания на основе рисков), регламентированной ГОСТ Р 55234.3-2013, провести многоуровневый анализ рисков газопровода с антикоррозионным покрытием, определить методы выявления данных неисправностей и действия по его снижению.

Методика RCM-анализа (надежностно-ориентированного технического обслуживания), описанная ГОСТ Р 27.606-2013, позволит уточнить вопросы выбора политики предупреждения отказов газопровода способами ТОиР в зависимости от классификационных признаков и критичности отказа.

## **Автоматизированные формы для подготовки шаблонов эксплуатационных данных в ИУС Т по объектам ЛЧ МГ**

*А.А. Булатов  
(ООО «Газпром трансгаз Казань»)*

ООО «Газпром трансгаз Казань» эксплуатирует 5817,8 км магистральных газопроводов и газопроводов-отводов. Подготовка и загрузка в Информационно-управляющую систему транспортировкой газа и газового конденсата (далее – ИУС Т) паспортных, эксплуатационных и геопространственных данных по ЛЧ МГ проводилась в соответствии с утвержденным Департаментом ПАО «Газпром» (В.А. Михаленко) планом мероприятий.

Подготовка и формирование большого объема данных требует тщательной проверки на достоверность, актуальность, а также соответствие нормативным требованиям ИУС Т и ПАО «Газпром». Проверка корректности представляемой информации от ЛПУМГ в сжатые сроки потребовала создания автоматизированных шаблонов для проверки внесенных данных.

Разработаны и реализованы алгоритмы для формирования шаблонов внутритрубного технического диагностирования из отчетов, получаемых от различных подрядных организаций, и алгоритмы для формирования шаблонов обследований в шурфах и ремонтов. Также реализованы макросы для проверки корректности предоставляемых и заполняемых шаблонов частоты аварий.

От подготовленных и загруженных исходных данных в ИУС Т зависит корректное проведение расчетов ущерба и техногенного риска, расчета показателей технического состояния газопроводов и возможности дальнейшего включения объектов в программу капитального ремонта ЛЧ МГ ПАО «Газпром».

## **Профилактика охлаждения мужчин и женщин, работающих в газовой отрасли, на основе различий в их терморегуляторных реакциях**

*Т.К. Лосик (НИИ медицины труда),  
Е.И. Константинов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Добыча и переработка углеводородов осуществляется на открытом воздухе, в том числе в суровых условиях холода. Гигиенические требования и рекомендации, направленные на предупреждение охлаждения человека, разработаны без учета различий в терморегуляторных реакциях мужчин и женщин, без учета особенностей их теплообмена с окружающей средой. Литературные сведения по этому вопросу не достаточны для разработки мер защиты от охлаждения женского организма. В то же время эти данные необходимы для использования их как физиологической основы для разработки профилактических мероприятий. Это и определяет актуальность выбранного направления, его научную новизну. С целью разработки дифференцированных мер профилактики охлаждения для мужчин и для женщин на основе различий в их терморегуляторных реакциях при работе в холодном климате были проведены экспериментальные исследования теплового состояния организма в соответствии с МУК 4.3.1895-04, в результате которых были получены следующие результаты:

- напряжение реакций терморегуляции у женщин проявляется в большей степени, чем у мужчин, что подтверждается различиями в критерийных показателях теплового состояния мужского и женского организма: температуры кожи, средней температуры тела, теплосодержания и его изменении, теплоощущениях;

- чем более выражено холодовое воздействие, тем существеннее различия в терморегуляторных реакциях мужчин и женщин, что обуславливает необходимость дифференцированных мер защиты от холода. Женщинам для обеспечения теплового комфорта требуются средства индивидуальной защиты с большей общей теплоизоляцией с учетом климатических условий;

- при одинаковой теплоизоляции одежды раннее появлении жалоб на холод и дискомфорт у женщин и большая степень их охлаждения обуславливают сокращение допустимой продолжительности работы женщин на холоде на 5 мин; для нормализации теплового состояния женского организма необходимо увеличить период на обогрев на 5 мин по отношению к предусмотренным Методическими рекомендациями МР 2.2.7.2129-06. При этом число 15-минутных перерывов для обогрева за 4-часовой период рабочей смены равно значениям, приведенным в указанных МР.



## **Оптимизационные решения, направленные на сокращение затрат при строительстве и эксплуатации магистральных газопроводов и повышение их надежности**

*А.А. Виноградов  
(ООО «Газпром проектирование»)*

При проектировании магистрального газопровода Ухта – Торжок III в рамках объекта «Система магистральных газопроводов «Ухта – Торжок». III нитка (Ямал)» были тщательно проработаны вопросы оптимизации количества линейных крановых узлов, узлов запуска и приема СОД, бесшлейфовой компоновки КС и модернизации схемы и компоновочных решений площадок узлов запуска и приема СОД и узлов подключения КС.

Специалистами НФ ГПП были выполнены расчеты проверки надежности и безопасной эксплуатации МГ для оптимизации шага расстановки линейных крановых узлов.

Наряду с расчетами для повышения надежности и безопасности крановых узлов были разработаны дополнительные конструктивные требования.

В проектной документации по объекту «Система магистральных газопроводов «Ухта – Торжок». III нитка (Ямал)» узлы запуска и приема ВТУ вынесены с площадок узлов подключения КС и размещены в районе охранных кранов до КС по ходу газа, выполнена оптимизация конструкции узлов.

Максимальная протяженность участка трубопровода для обследования за один пропуск внутритрубного устройства рассчитана из условий применения современного оборудования для проведения ВТД и составила 300 км.

Выполнен расчет конструкции узла подключения КС на прочность и виброустойчивость, подтвердивший возможность безопасной и надежной эксплуатации данной конструкции.

Реализация данных решений обеспечивает выполнение условий прочности и устойчивости газопровода и снижает потенциальную вероятность аварии; обеспечивает повышение эксплуатационной надежности газопровода, снижает капитальные и эксплуатационные затраты.

IX Международная научно-техническая конференция

**Газотранспортные системы:  
Настоящее и будущее  
(ГТС-2023)**

Корректор М.В. Бурова  
Верстка Н.А. Владимиров  
Обложка И.Ю. Белов

Подписано к печати 30.03.2023 г.  
Тираж 250 экз. Ф-т 60×84/16  
Объем: 6,45 усл. печ. л.



<https://vniigaz.gazprom.ru/events/2023/gts-2023>

