

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

VI Международная научно-техническая конференция

**ГАЗОТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ  
(GTS-2015)**

28–29 октября 2015 г.

**Тезисы докладов**

Москва  
2015

**Газотранспортные системы: настоящее и будущее:** тезисы докладов VI Международной научно-технической конференции GTS-2015 (28–29 октября 2015 г.). – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2015. – 174 с.

Настоящий сборник составлен по материалам VI Международной научно-технической конференции «Газотранспортные системы: настоящее и будущее» (GTS-2015), проходившей в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» 28–29 октября 2015 г.

Структура сборника соответствует Программе конференции и включает следующие разделы: пленарное и секционные заседания (секции А, В, С, D, E).

Тезисы располагаются в соответствии с порядком выступлений докладчиков.

## **ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ**

28 октября 2015 г.

## Направления научно-технического и инновационного развития газотранспортной системы ПАО «Газпром»

*В.А. Михаленко (ПАО «Газпром»)*

Эффективность функционирования газотранспортной системы определяется минимизацией эксплуатационных затрат, включая затраты и простои на выполнение аварийно-восстановительных работ, оптимизацией капитальных вложений.

Эти факторы развития определяются как общим уровнем технического прогресса, так и научно-техническими достижениями, внедрение которых позволит обеспечить высокую конкурентоспособность.

Результативность научно-исследовательских работ будет особенно высока, если отраслевая наука видит магистральные цели и задачи, в решении которых крайне заинтересовано ПАО «Газпром».

В докладе показаны основные направления научно-технического и инновационного развития газотранспортной системы ПАО «Газпром», которые позволят обеспечить высокую эффективность функционирования газотранспортной системы:

- повышение энергоэффективности и решение вопросов энергосбережения;
- совершенствование системы управления техническим состоянием и целостностью;
- новые методы и средства диагностики;
- совершенствование методов технического обслуживания и технологий ремонта;
- развитие технологий, техники и организации строительства.

В докладе отмечена необходимость пересмотра устаревших положений нормативных документов, которые не соответствуют современным достижениям науки и техники и сдерживают развитие отрасли.

Применение инновационных технологий традиционно является основой для реализации крупнейших мегапроектов ПАО «Газпром». В ближайшей перспективе это направление ориентировано на освоение месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока, включая сооружение системы магистральных газопроводов Сахалин – Хабаровск – Владивосток, «Сила Сибири», «Алтай».

## Научно-техническое сопровождение развития и эксплуатации газотранспортных систем

*Д.В. Люгай, В.Н. Воронин (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», являясь головным научным центром ПАО «Газпром», обеспечивает научно-техническое обоснование и сопровождение проектов строительства новых, реконструкции и эксплуатации действующих объектов газотранспортной системы.

В традициях и предназначении ВНИИГАЗа развивать прикладные направления фундаментальной науки, разрабатывать новые технологические и технические решения, определять научно обоснованную техническую политику отрасли в долгосрочной перспективе.

Магистральный транспорт углеводородов сегодня сопряжен с решением двух основных проблем:

- сооружением высоконадежных газопроводов в крайне сложных географических природных условиях с неразвитой инфраструктурой;
- обеспечением работоспособности и безопасности действующих объектов, подверженных активному физическому и моральному износу.

Обе проблемы следует решать в условиях максимально эффективного использования финансовых и материальных ресурсов, вовлекая в решение поставленных задач отечественных производителей.

В настоящее время развитие газотранспортной системы России связано с диверсификацией экспортных потоков газа, формированием новых центров добычи газа на Ямале и Арктическом шельфе, в нефтегазоносных районах Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Новые проекты транспорта газа характеризуются сложными горно-геологическими, географическими и климатическими условиями. Многообразие новых условий отражается в постановке и решении исследовательских и технологических задач научно-технического сопровождения, необходимости разработки инновационных технических решений, технологий строительства, конструкционных материалов. Результаты теоретических исследований и опытно-промышленных испытаний воплощаются в проектных решениях, реестрах разрешенных к применению строительных технологий, материалов и оборудования, нормативной документации.

Функциональная устойчивость и стабильность поставок газа потребителям обеспечивается поддержанием требуемого уровня надежности и безопасности эксплуатируемых объектов ГТС. Эффективность данного процесса определяется оптимальным адресным применением современных методов и технологий технического диагностирования, технического обслуживания и ремонта. Эти задачи решает Система управления техническим состоянием и целостностью ГТС – плод научно-исследовательских, нормативных и информационных разработок Общества.

В последние годы ПАО «Газпром» осуществлен ввод системы магистральных газопроводов Бованенково – Ухта для транспортировки газа с месторождений полуострова Ямал, магистральный газопровод «Северный поток», газотранспортная система Сахалин – Хабаровск – Владиво-

сток. Начато строительство ГТС «Сила Сибири», выполнено расширение мощностей ГТС для обеспечения Турецкого коридора.

ООО «Газпром ВНИИГАЗ» по всем проектам выполнял комплексное научно-техническое сопровождение, включавшее разработку Специальных технических условий (СТУ), технических требований к трубам, соединительным деталям, сварке и неразрушающему контролю, испытаниям, противокоррозионной защите и др.

В отношении действующей ГТС значимые результаты исследований института выражены в разработанных Системе управления техническим состоянием и целостностью ГТС, а также Программ реконструкции и технического перевооружения магистральных газопроводов ПАО «Газпром» и комплексного капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов ПАО «Газпром» на 2016–2020 гг.

Сегодня научно-исследовательский и инженерно-технологический потенциал института особо востребован ПАО «Газпром» для решения первоочередных задач реализации Восточной Программы. Научно-техническое сопровождение сооружения магистрального газопровода «Сила Сибири» началось с прединвестиционных исследований и продолжено при проектировании и строительстве. Помимо внедрения инновационных технологий при прямом участии института в этом процессе удалось выявить и обосновать экономически оптимальные технические решения, снизить капитальные затраты проекта.

Отдельно хотелось бы подчеркнуть, что в области транспортировки газа реализация научно-технической политики ПАО «Газпром» невозможна без создания в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» современной мощной испытательной базы, способной обеспечить выполнение поисковых экспериментальных исследований, полноценных аттестационных и квалификационных испытаний образцов конструкций, материалов, технологий и оборудования, а также выполнять функции тренажерных комплексов для обучения и повышения квалификации специалистов газотранспортных обществ.

## **Эволюционный переход на новый этап развития управления ЕСГ**

*А.А. Апостолов (НП «СРО АСГ и НК»)*

Современное состояние газовой промышленности страны характеризуется следующими основными негативными обстоятельствами:

- истощением уникальных месторождений газа и газового конденсата;
- неизменной удаленностью от основных мест потребления и удорожанием ресурсов газа и конденсата;
- растущим избытком мощностей в магистральных газотранспортных системах;
- снижением потребления природного газа в стране и продаж в зарубежные страны;
- превышением предельного нормативного срока эксплуатации магистральных газопроводов и как следствие – необходимостью значительных инвестиционных затрат на их реставрацию;
- высокой стоимостью новых проектов, реализующихся за пределами ныне действующей ЕСГ, за исключением освоения ямальских месторождений.

Все это требует нового подхода к основным принципам совершенствования управления и дальнейшего развития ЕСГ, включая разумное использование созданного производственного потенциала в добыче, переработке, транспортировке и хранении газа.

В докладе рассматриваются направления, противодействующие вышеуказанным обстоятельствам и другим негативно развивающимся факторам, обеспечивающие поддержание ЕСГ на высоком экономическом уровне.

## **Анализ рисков в стратегическом планировании развития газотранспортных систем**

*Н.А. Махутов*

*(Рабочая группа при Президенте РАН  
по анализу риска и проблем безопасности)*

Принятый 28.06.2014 г. Федеральный закон № 172 «О стратегическом планировании в Российской Федерации» исходит из необходимости достижения двух стратегических приоритетов:

- социально-экономического развития страны;
- обеспечения национальной безопасности.

Для газотранспортных систем международного, федерального и регионального уровней в соответствии с этим Законом требуется разработка в 2015–2017 гг. новых документов стратегического планирования их развития на краткосрочную, среднесрочную и долгосрочную перспективы.

Стратегическое планирование развития газотранспортных систем должно выполняться с использованием критериев риска и ограничений экономического, технологического и экологического характера. Разработка документов стратегического планирования может осуществляться при научной и информационно-аналитической поддержке Российской академии наук.

В число интегральных стратегических рисков следует включать две основные группы:

- риски потери жизни и здоровья операторов и персонала газотранспортных систем, а также населения в зонах их расположения;
- экономические риски технологического, техногенного, природного и антропогенного характера.

Для данных групп рисков должны:

- научно обосновываться методы определения величин рисков и их составляющих;
- оцениваться и назначаться приемлемые риски.

На этой базе для газотранспортных систем будут разрабатываться комплексные мероприятия по указанным выше стратегическим приоритетам с расчетным обоснованием необходимых экономических затрат с учетом формирующихся и приемлемых рисков.

## **Новые диагностические системы и технологии диагностирования магистральных трубопроводов**

*Н.П. Алёшин*

*(ФГАУ «НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана)»*

В докладе рассматриваются новые автоматизированные средства ультразвукового контроля сварных стыков трубопроводов и тела трубы. Сканеры снабжены фазированными решетками, и в отличие от известных аналогов, работающих в режиме TOFT, реализован дифракционно-амплитудный временной метод (DAFT), который обеспечивает более высокую выявляемость дефектов и возможность оценки их размеров. Разработанный метод кроме определения высоты трещины позволяет оценить размеры других типов дефектов, что невозможно реализовать при применении метода TOFT.

Разработана технология контроля, которая исключает наличие «мертвых зон» сверху и снизу контролируемого изделия. Сравнительные испытания разработанной системы и других аналогов, проведенные на заводе ЗАО «Псковэлектросвар», показали, что данная система обеспечивает 100%-ную выявляемость окисных плен, тогда как другие аналоги – Argovision (Израиль), Pipe Wizard (Канада) – показали более низкую выявляемость (~ 72 %).

## **Комплексный подход к разработке, производству и поставке специализированной продукции на объекты ПАО «Газпром» в новых экономических условиях**

*Г.В. Котишевский (ЗАО «Газпром СтройТЭК Салават»)*

Надежная и эффективная эксплуатация газотранспортных систем, их своевременное развитие с учетом растущих запросов рынка является одной из приоритетных задач ПАО «Газпром», решение которой позволяет выполнять принятые обязательства по обеспечению потребителей природным газом.

Одним из ключевых направлений по реализации данной задачи является применение новых современных технических решений, передовых методик, изделий и материалов, используемых при строительстве и ремонте газопроводов, позволяющих обеспечить высокое качество, безопасность, сократить сроки строительства, а также увеличить срок службы газотранспортных систем.

В современных экономических условиях с учетом реализации в ПАО «Газпром» программы импортозамещения и минимизации импортных закупок повышению требований к закупаемой продукции, применяемой на объектах строительства и ремонта, для успешной конкурентоспособной деятельности на рынке требуется комплексный подход к разработке, производству и поставке специализированной продукции, заключающийся:

- в анализе опыта применения существующей продукции;
- взаимодействии с научно-исследовательскими организациями;
- разработке новых видов и модернизации существующей продукции и технических решений на ее основе;
- максимальном использовании отечественных материалов;
- внедрении инновационных и совершенствовании применяемых технологий, модернизации производства;
- разработке комплексных технических решений;
- повышенном контроле качества выпускаемой продукции;
- обеспечении сроков и объемов поставок.

За последние два года ЗАО «Газпром СтройТЭК Салават» провел значительную работу в данном направлении. Проводится постоянное взаимодействие с проектными и строительными организациями в рамках анализа применимости поставляемой продукции, применении комплексных технических решений на основе изготавливаемой и поставляемой продукции. На основе обобщения опыта эксплуатации газотранспортных систем в тесном сотрудничестве с научными подразделениями ПАО «Газпром» участвует в совершенствовании нормативно-технической базы. Постоянно проводится модернизация, а также разработка новой продукции, совершенствуется система контроля качества как за продукцией собственного производства, так и за поставляемой. Для изготовления продукции проводится постоянный рост вовлечения отечественных производителей сырья и материалов. Открываются новые производства, значительно расширяется спектр производимой продукции.

## **Создание комплексов СПГ различной производительности на основе отечественных технологий и оборудования (проблемы и решения)**

*Г.Э. Одишария (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В настоящее время ПАО «Газпром» располагает всем необходимым для успешного решения поставленной задачи в минимальные сроки при соответствующей организации работ и приемлемых объемах финансирования.

Основанием для такого утверждения являются:

- наличие в ПАО «Газпром» головного научного центра в области технологий – ООО «Газпром ВНИИГАЗ», располагающего необходимым опытом и квалифицированными кадрами в сфере производства, хранения, транспорта и использования СПГ;

- наличие собственной технологии сжижения природного газа, по своим технико-технологическим показателям, включая удельный расход энергии на производство СПГ, не уступающей лучшим мировым аналогам (разработка ООО «Газпром ВНИИГАЗ», патентообладатель – ПАО «Газпром»);

- возможность использования указанной технологии сжижения газа на комплексах СПГ различной производительности и назначения;

- возможности комплектации комплексов СПГ материалами и оборудованием, включая компрессоры холодильных циклов, теплообменные аппараты и установки общезаводского назначения собственного производства, для строительства:

- комплексов СПГ большой производительности (10 млн т/год и более) с целью поставок газа на удаленные рынки морским путем с использованием танкеров большой грузоподъемности;

- комплексов СПГ, аналогов зарубежных установок «пикшевинг», оснащенных технологической линией сжижения газа малой производительности (до 20 т/ч), для покрытия пиковых нагрузок газопотребления и снабжения сжиженным газом небольших по численности населения поселков и АГНКС, расположенных на значительном удалении от магистральных и распределительных газопроводов.

## **Целостность газопроводов под давлением: некоторые уроки научно-технического сотрудничества ENGIE и ПАО «Газпром»**

*А. Григорян (ENGIE)*

1. Проблематика целостности газотранспортных сетей во Франции: задачи и требования.
2. Методика оценки и инспекции трубопроводов с точки зрения их целостности.
3. Совместная работа в рамках научно-технического сотрудничества.
4. Перспективы дальнейших исследований.

**СЕКЦИЯ «А»**

**ТЕХНОЛОГИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ГАЗА**

28–29 октября 2015 г.

## **Принципы формирования Комплексной программы реконструкции и технического перевооружения объектов транспорта газа на 2016–2020 годы**

*А.В. Чепкасов, А.В. Женёв (ПАО «Газпром»),  
С.Ю. Сальников, Р.В. Шинтяпин,  
С.Ю. Тертичный (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Газотранспортная система (ГТС) ПАО «Газпром» функционирует в условиях изменения объемов поставок газа по направлениям, связанным с перемещением центров добычи из истощающихся источников Надым-Пур-Тазовского региона на Ямал и шельф, диверсификацией экспортных потоков газа, увеличением объемов поставок газа в ГТС независимыми поставщиками.

Значительная доля проектов, предусмотренных предыдущими комплексными программами реконструкции и технического перевооружения объектов транспорта газа, остается в стадии незавершенных ПИР.

При решении вопроса о выводе объекта в реконструкцию главная проблема – отсутствие общепринятых методических подходов к прогнозированию надежности и работоспособности оборудования объектов магистрального транспорта.

В 2013–2014 гг. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» разработан «Инвестиционный замысел реконструкции и технического перевооружения объектов транспорта газа на период 2016–2020 гг.», в котором определен перечень объектов, реконструкция которых необходима для обеспечения перспективных потоков газа до 2030 г. Институт приступил к разработке «Комплексной программы реконструкции и технического перевооружения объектов транспорта газа на 2016–2020 гг.» (далее – Программа).

Программа содержит проекты, направленные на обеспечение перспективных потоков газа, а также работоспособности и безопасной эксплуатации объектов ГТС, в том числе промышленной безопасности. Разрабатываемая Программа синхронизируется с другими комплексными целевыми программами.

При ее формировании разработаны три сценария реализации (финансирования), выявлены факторы эффективности проектов реконструкции.

## **Повышение эффективности функционирования газотранспортной инфраструктуры за счет комплексов СПГ**

*А.З. Шайхутдинов, С.И. Долгов, В.С. Сафонов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В балансе котельно-печного топлива Российской Федерации до 70 % занимает природный газ. При этом в зимние периоды основная доля газа (более 75 %), поставляемого через ЕСГ, расходуется на нужды теплоэлектрогенерации. Потребность в газе на эти нужды зависит от метеорологических условий, что неизбежно порождает значительные краткосрочные колебания объемов потребления газа, которые по некоторым субъектам РФ могут достигать 30–40 % от среднестатистических показателей. Сохранение баланса газа в таких условиях обеспечивается за счет отборов газа из ПХГ и изменения запасов газа в трубах. Однако объекты ПХГ размещены в ЕСГ крайне неравномерно и имеют существенно различающиеся технологические параметры. В связи с этим в ряде сегментов ЕСГ наблюдается дефицит мощностей ПХГ для компенсации краткосрочной неравномерности потребления газа. Компенсация неравномерности потребления газа в этих сегментах вынужденно осуществляется за счет изменения режимов транспортировки газа на протяженных участках магистральных газопроводов, что приводит к существенному снижению их технологической эффективности (частые пуски и остановки ГПА, работа ГПА вне зоны максимального КПД и т.п.).

В докладе в качестве примера рассмотрена зона обслуживания ГТО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» (ГТ СПб), в зоне которого для регулирования неравномерности потребления газа задействуют возможности Невского и Гатчинского ПХГ. Установлено, что существующих мощностей этих ПХГ недостаточно для компенсации в полном объеме краткосрочной неравномерности потребления газа, генерируемой потребителями ГТ СПб. При этом значительная нагрузка по регулированию неравномерности потребления ложится на газотранспортную систему ГТ Ухта.

Показано, что использование совместно с существующими мощностями ПХГ установок типа «пик-шейвинг» позволит существенно сгладить краткосрочные колебания потребления газа в зоне ГТ СПб и повысить технологическую (энергетическую) эффективность системы ЕСГ–Потребитель.

Проанализированы возможности комплексного использования СПГ для регулирования краткосрочной неравномерности потребления газа, а также в качестве моторных топлив (для автомобильного, железнодорожного и водного транспорта) и резервного топлива на объектах энергетики.

## **Исследования физико-химических свойств стали длительно эксплуатируемых трубопроводов, оценка ресурса безопасной работы**

*Ю.В. Лисин (ООО «НИИ Транснефть»)*

Протяженность линейной части магистральных трубопроводов ОАО АК «Транснефть» составляет 73 млн м трубопровода. Линейная часть содержит свыше 7 млн кольцевых сварочных швов и 75,5 млн м продольных стыков. При этом 50 % нефтепроводов и 66 % нефтепродуктопроводов используются более 30 лет.

В 1988 г. В ГУП «ИПТЭР» была разработана простая теория безопасной эксплуатации «старых» трубопроводов: снижение проектных давлений в зависимости от сроков эксплуатации. Реализация данной теории приводила к снижению пропускной способности нефтепроводов на 30 %, что в условиях растущей добычи явилось сдерживающим фактором.

С 2000 г. в ОАО «АК «Транснефть» выполняется масштабная научно-исследовательская и экспериментальная работа по изучению фактических механических и химических свойств стали труб длительно эксплуатируемых и вновь строящихся трубопроводов. На сегодняшний день в данной работе принимают участие ООО «НИИ Транснефть» и АО «Транснефть – Диаскан».

В период с 2000 по 2002 гг. проводилась работа по исследованию изменения во времени свойств трубных сталей, а с 2002 г. эта тема включает изучение долговечности и ресурса длительно эксплуатируемых трубопроводов. По результатам стендовых и лабораторных испытаний химического состава и механических свойств металла труб установлено, что изменение характеристик стали труб происходит:

- в меньшей степени в процессе эксплуатации, так как отмечается незначительность влияния малоцикловых нагрузок;
- в процессе изготовления труб;
- в зонах дефектов происходят значительные изменения механических свойств в сторону ухудшения;
- значительно (в 1,5–2 раза) снижаются ударная вязкость, временное сопротивление, предел текучести у сталей с повышенным содержанием серы.

## **Развитие ГТС ООО «Газпром трансгаз Ухта» за счет реализации крупномасштабных «мегапроектов» как мощного энергетического потенциала России**

*Т.В. Андреева (ООО «Газпром трансгаз Ухта»)*

Несмотря на сложную геополитическую и экономическую ситуацию в мире, ПАО «Газпром» сумел сохранить позиции крупнейшего поставщика и эффективного экспортера природного газа. В настоящее время продолжают активно решаться такие стратегические задачи, как обеспечение добычи газа в объемах, гарантирующих газоснабжение потребителей народного хозяйства Российской Федерации, выполнение экспортных контрактов на поставку газа, а также диверсификации маршрутов российского газа, увеличение пропускной способности экспортной инфраструктуры. В решении данных задач предприятию ООО «Газпром трансгаз Ухта» отведена немаловажная роль. Все большее количество проектов газовой отрасли, которые ПАО «Газпром» осуществляет на европейском севере страны, имеют прямое отношение к ООО «Газпром трансгаз Ухта» в связи с тем, что так называемый «Северный коридор» магистральных газопроводов в границах эксплуатационной ответственности предприятия имеет стратегическое значение, являясь самым коротким по направлению от действующих месторождений Тюменской области и перспективных месторождений п-ова Ямал до центральных регионов европейской части страны и Европы.

Такие новые газотранспортные системы, как Северо-Европейский газопровод (сухопутная часть), Бованенково – Ухта, Ухта – Торжок, которые начиная с 2012 г. поэтапно вводятся в эксплуатацию, связали газовые месторождения Ямала и потребителей природного газа в европейских странах через Балтийскую систему газопроводов.

Стратегические планы ПАО «Газпром» по расширению «Северного потока» приведут к необходимости расширения газотранспортных мощностей в зоне эксплуатационной ответственности ООО «Газпром трансгаз Ухта», лишняя раз доказывая, что газотранспортная система предприятия, являясь мощным энергетическим потенциалом России, становится не только важным фактором для нового витка развития и обеспечения надежности действующей Единой системы газоснабжения страны, но и ключевым звеном обеспечения европейской энергетической безопасности.

## **Применение аэрокосмических технологий для решения задач воздушного патрулирования линейной части магистральных газопроводов**

*В.А. Кузнецов, В.А. Лазутин, Н.Н. Севастьянов, Д.А. Чепрасов  
(ОАО «Газпром космические системы»)*

С целью обеспечения бесперебойного транспорта газа и минимизации издержек от рисков природного и техногенного характера проводится регулярное диагностическое обслуживание линейной части магистральных газопроводов (ЛЧ МГ).

Одним из источников объективной информации о состоянии ЛЧ МГ являются материалы аэрокосмической съемки. Реализуемые на их основе аэрокосмические технологии мониторинга используются для получения информации о взаимодействии МГ с окружающей средой, текущем состоянии ЛЧ МГ, данных об окружающей ландшафте и его влиянии на состояние МГ.

Аэрокосмические технологии предполагают комплексный характер проведения работ с использованием всех доступных информационных материалов о состоянии МГ и окружающей среды, включая материалы космической оптико-электронной, радиолокационной и авиационной беспилотной съемки, исполнительную документацию, материалы внутритрубной диагностики и другие данные об окружающей природной среде.

Рациональное сочетание пространственных данных, получаемых из нескольких источников, а также средств их обработки и визуализации, позволяет существенно повысить вклад аэрокосмических методов в эффективность комплексной системы обеспечения надежной эксплуатации МГ.

Аэрокосмические технологии на базе авиационной беспилотной съемки во многих случаях могут обеспечить эффективную замену воздушного патрулирования с использованием пилотируемых воздушных судов вертолетного типа.

В докладе представлены результаты практических работ по внедрению аэрокосмических технологий, выполненных ОАО «Газпром космические системы» в дочерних газотранспортных обществах ПАО «Газпром» в 2011–2015 гг.

## Оптимизация расстановки запорной арматуры на линейной части магистральных газопроводов

*А.А. Беляков, А.А. Виноградов (АО «Гипрогазцентр»)*

При сооружении площадки кранового узла помимо самого крана и обвязки требуется строительство объектов связи, телемеханики, электро-снабжения, систем охраны, подъездных дорог, вертолетных площадок.

Возведение данного комплекса влечет за собой значительные инвестиционные и эксплуатационные затраты на проведение плановых осмотров, технического обслуживания и ремонта запорной арматуры с инфраструктурой.

Особенно актуален вопрос эксплуатации линейных кранов в малонаселенной и труднодоступной для обслуживания местности.

Расстановка запорной арматуры на линейной части проектируемого магистрального газопровода выполняется согласно требованиям п. 8.2.1 СП 36.13330.2012 «Магистральные трубопроводы» с шагом не более 30 км.

Постановлением Правительства РФ от 26.12.2014 г. № 1521 утвержден перечень национальных стандартов (также их частей) и сводов правил, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Причем, требование вышеуказанного свода правил о максимальном шаге установки линейной запорной арматуры в 30 км в данный перечень не входит.

С целью сокращения затрат на строительство объекта рекомендуется оптимизировать шаг расстановки, увеличив его с 30 до 60 км. Данное предложение подкреплено расчетами:

- времени опорожнения участков газопровода;
- диаметра продувочных линий;
- конструкции обвязки кранового узла;
- коэффициента эффективности,

а также оценкой

- надежности системы;
- последствий негативных факторов после аварийной ситуации.

## **Современные организационные методы и технологии автоматизированного проектирования объектов трубопроводного транспорта**

*О.Ф. Шаяхов*

*(ООО ПФ «Уралтрубопроводстройпроект»),*

*А.Г. Гайнанова*

*(ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»)*

Считается, что около 80 % трудозатрат в проектировании составляют рутинные операции и около 20 % – это творческая составляющая, т.е. собственно принятие проектных решений. Применение современных технологий позволяет существенно снизить долю рутинных операций за счет повторного использования имеющихся наработок, автоматизации рутинных процессов.

Одной из особенностей объектов трубопроводного транспорта является значительный опыт проектирования трубопроводных систем в проектных организациях. Соответственно, одним из направлений повышения эффективности проектирования является широкое использование этого опыта и знаний на основе современных организационных методов и технологий. В связи с этим для реализации данного направления повышения эффективности проектирования предлагаются к внедрению следующие современные системы для проектных организаций:

- система управления данными, задачей которой является сбор и хранение информации об объекте проектирования в единую логическую модель;
- производственная исполнительская система для управления графиками проектных работ и диспетчеризации;
- специализированные системы автоматизированного проектирования трубопроводных систем;
- система проектирования на основе накопленных знаний.

Опыт проектирования в смежных отраслях показывает, что применение специализированных систем проектирования на основе накопленных знаний уменьшает время проектирования, в отдельных случаях с нескольких недель до нескольких часов. Однако подобные системы требуют значительных ресурсов для разработки и внедрения, что не всегда возможно и целесообразно в случае с проектированием объектов трубопроводного транспорта, поэтому предлагается интеграция перечисленных выше систем на базе системы управления данными с использованием готовых программных решений, предлагаемых на рынке.

## **Однониточная газоизмерительная станция Ду 800–1400: концепция и опыт внедрения**

*Г.А. Дерезягин (ООО «НПО «Вымпел»)*

В докладе освещаются следующие аспекты.

1. Предпосылки создания однониточной газоизмерительной станции (ОГИС) большого диаметра в НПО «Вымпел»: хронология развития ультразвуковой расходомерии, создание многоканального ультразвукового расходомера повышенной точности.

2. Концепция однониточной газоизмерительной станции большого диаметра.

3. Преимущества ОГИС – сокращение себестоимости, упрощение конструкции.

4. Метрологическое обеспечение: создание газодинамической поверочной установки «Вымпел-80000».

5. Составные части ОГИС: узел учета газа, блок качества газа, система сбора данных.

6. Предварительные заводские испытания расходомера Ду 1400: сравнение с эталоном сличения Ду 500.

7. Испытания узла учета Ду 1400 в условиях опытно-промышленной эксплуатации, предварительные результаты.

8. Дальнейший план испытаний и перспективы применения данной разработки.

## **Политика энергосбережения ООО «Газпром трансгаз Ухта». Современные тенденции в развитии бизнес-процессов Общества в рамках повышения энергоэффективности**

*В.Н. Юшманов, В.Э. Вовк (ООО «Газпром трансгаз Ухта»)*

Согласно Политике энергосбережения ООО «Газпром трансгаз Ухта» (далее – Политика) основной задачей в области оптимизации основных бизнес-процессов деятельности Общества является повышение эффективности использования невозобновляемых энергоресурсов посредством их экономии, а также внедрение в производство энергосберегающих технологий.

Для реализации Политики необходимо определить потенциал энергосбережения и повышения энергоэффективности Общества, основные направления (сегменты) производственной деятельности, в которых возможно получение максимального экономического эффекта при минимальных затратах, а также выстроить план-график реализации энергосберегающих мероприятий в Обществе.

Инструментом выполнения Программы является нормативная база, включающая в себя методические подходы и алгоритмы реализации энергосберегающих мероприятий и энергоэффективных технологий, в том числе внедряемых в рамках энергосервисных контрактов.

С целью создания такого инструмента, а также формализации подходов к применению энергосервисных контрактов в ООО «Газпром трансгаз Ухта» с возможностью тиражирования их в дочерних обществах ПАО «Газпром» в Обществе ведется НИОКР по теме «Оценка потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности ГТС ООО «Газпром трансгаз Ухта», формирование предложений по его реализации на период до 2025 года».

## **Моделирование процессов транспорта газа с целью повышения энергоэффективности**

*Е.А. Золотарёв (ЗАО «Гидроаэроцентр»)*

В условиях кризиса снижение цен на энергоносители является одним из способов повышения рентабельности ПАО «Газпром». Добиться подобного снижения можно за счет моделирования транспорта газа и определения режимов с минимальными затратами топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

Для достоверного прогнозирования энергоэффективных режимов транспорта газа необходимо получить фактические характеристики оборудования магистрального газопровода (МГ) и провести моделирование работы МГ во всем диапазоне рабочих параметров и внешних условий.

В результате могут быть определены оптимальные режимы транспорта по давлению и температуре газа на выходе компрессорной станции (КС), по конфигурации включенных в работу элементов КС, а также исследовано влияние объемов транспорта газа и элементов МГ на затраты ТЭР.

Разработанная отечественными специалистами программа «Поток» была апробирована на магистральных газопроводах Магат – Северный Кавказ, «Северный поток», «Голубой поток», «Сила Сибири».

Достоверность расчетов позволила дать рекомендации по конфигурации КС «Портовая» (МГ «Северный поток»), КС «Зейская» (МГ «Сила Сибири») и КС «Кубанская» (МГ «Голубой поток»).

## **Новые требования промышленной безопасности и совершенствование методического обеспечения анализа риска аварий на опасных производственных объектах трубопроводного транспорта**

*М.В. Лисанов (ЗАО НТЦ ПБ)*

Внедрение риск-ориентированного подхода к регулированию промышленной безопасности сопровождается существенным изменением нормативной базы Ростехнадзора, в том числе введением дополнительных требований по анализу риска в федеральные нормы и правила: «Правила безопасности для опасных производственных объектов магистральных трубопроводов», «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта».

В докладе рассматриваются положения новых методических документов по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на магистральных трубопроводах, включая:

Руководство по безопасности (РБ) «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (актуализация РД 03-418-01);

РБ «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» (актуализация РД 03-26-2007);

РБ «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей» (актуализация РД 03-409-01);

РБ «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах» (новый документ для обоснования устойчивости к аварийным взрывам операторных и зданий с присутствием людей).

Представлены примеры результатов количественной оценки риска для магистральных трубопроводов. Показаны типичные ошибки в расчетах, в том числе связанные с применением анализа риска при разработке обоснования промышленной безопасности.

Изложены предложения по совершенствованию методического обеспечения анализа риска, в том числе по разработке компьютерных программ, сбору и анализу исходных данных для расчетов на основе реализации системы дистанционного контроля промышленной безопасности.

## **Опыт и проблемы разработки специальных технических условий для объектов газотранспортной системы**

*Г.Ю. Чуркин, А.А. Синицина*

*(АНО «Агентство исследований промышленных рисков»)*

Проведен анализ наиболее часто встречающихся причин разработки СТУ для объектов газотранспортной системы, к числу которых относятся:

- реконструкция магистральных газопроводов (МГ) на участках, проходящих в городской черте или границах населенных пунктов;
- прокладка МГ в стесненных условиях действующего коридора коммуникаций;
- прокладка в городской черте газопроводов давлением более 2,5 МПа для газоснабжения газотурбинных установок ТЭЦ;
- строительство трубопроводов СУГ с отдельными отступлениями от нормативных требований;
- строительство объектов городской инфраструктуры на расстояниях до действующих МГ менее допустимых.

Представлены основные компенсирующие мероприятия, используемые при разработке СТУ для каждой из приведенных выше причин. Проведен анализ обоснованности примененных компенсирующих мероприятий и даны рекомендации по их совершенствованию.

Особое внимание посвящено разработке СТУ для проектирования трубопроводов, предназначенных для транспортировки СУГ: ШФЛУ и СПГ. Потребность в указанных трубопроводах возникает в связи с проводимыми работами по строительству газоперерабатывающих заводов и заводов по производству СПГ. Выполнен анализ требований к трубопроводам транспортировки СПГ в составе морских технологических причалов отгрузки СПГ и газового конденсата.

## **Прогнозирование эксплуатационной надежности магистральных газопроводов на основе мониторинга факторов, влияющих на возникновение аварийных ситуаций**

*А.М. Ревазов (РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина),  
С.Т. Алекперова (Группа компаний «СЕРКОНС»)*

Протяженность разветвленной системы магистральных газопроводов (МГ) на территории Российской Федерации составляет более 174 тыс. км. При этом значительное число проектов строительства и реконструкции МГ осуществляется в стесненных условиях, характеризующихся:

- прохождением трассы МГ по территории городов и населенных пунктов;
- наличием ненормативных сближений с городами и населенными пунктами, а также объектами гражданского и промышленного назначения;
- несоблюдением требуемых расстояний при параллельной прокладке МГ в одном техническом коридоре с существующими коммуникациями и действующими газопроводами.

Стесненные условия строительства и эксплуатации МГ обуславливают необходимость пересмотра общих подходов к обеспечению безопасности МГ, т.к. в указанных условиях возрастает не только риск увеличения числа пострадавших в случае возникновения аварии, но также вероятность реализации аварии ввиду несанкционированного воздействия.

Идентификация на этапе проектирования факторов эксплуатации, характерных для конкретных проектов строительства и реконструкции МГ, а также анализ комбинаций факторов эксплуатации на единичном участке МГ позволяют спрогнозировать его эксплуатационную надежность, что в свою очередь предоставляет возможность эффективного управления риском линейной части МГ.

Рассмотрены ключевые способы прогнозирования эксплуатационной надежности линейной части МГ с применением математических подходов к установлению форм зависимостей между факторами эксплуатации, а также использованием концепции экономически приемлемого риска.

В результате определена необходимость учета характера и комбинаций факторов эксплуатации при прогнозировании мероприятий, направленных на предотвращение аварий на линейной части МГ.

## **Методический аппарат обоснования страховых сумм программ экологического страхования при развитии газотранспортной сети Восточной Сибири и Дальнего Востока**

*С.А. Ямников (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Развитие газотранспортной сети (в частности строительство магистрального газопровода «Сила Сибири») может оказывать существенное негативное влияние на состояние окружающей среды ввиду своей протяженности и непосредственного контакта с ней.

Одним из вариантов смягчения возможных негативных последствий при авариях на линейной части магистральных газопроводах (МГ) является применение механизма экологического страхования. При этом необходимо научное обоснование требований по ключевым параметрам программ страхования экологических рисков, в т.ч. страховой сумме и лимитам ответственности, которые могут определяться исходя из значений максимально возможного ущерба (МВУ) окружающей природной среде, который на МГ возможен при возникновении:

- аварии с возгоранием природного газа. Основным поражающим фактором (ПФ) является тепловая радиация, а МВУ определяется исходя из компенсационных выплат за причинение ущерба основным реципиентам негативного воздействия – лесному фонду и почве;

- аварии без возгорания газа. Основной ПФ – возможный выброс больших объемов метана в атмосферу. Соответственно, МВУ определяется платой за выброс метана как парникового газа.

Тогда для определения МВУ необходимо сначала оценить максимальные размеры последствий воздействия ПФ аварии на окружающую среду с учетом их случайного характера. Для этого возможно применение техники графического статистического анализа – построения квантиль-квантиль диаграмм. Полученные результаты целесообразно сопоставлять с результатами прогнозирования масштабов последствий аварии, полученных при использовании детерминированных расчетных методов и методов математической статистики и при их непротиворечивости друг другу. Далее возможно рассчитать платы за возможный ущерб окружающей среде при аварии с возгоранием/не возгоранием газа и выбрать наибольшие.

## **Обеспечение безопасности при проектировании переходов магистральных трубопроводов через автомобильные и железные дороги**

*С.А. Ковалёв, М.А. Куркин, К.С. Железов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Переходы через автомобильные и железные дороги относятся к наиболее опасным участкам линейной части магистральных газопроводов (ЛЧ МГ). Аварии на данных участках МГ могут сопровождаться значительными социально-экономическими и репутационными ущербами. Для наиболее опасных участков ЛЧ МГ проектной документацией должны быть предусмотрены в соответствии с нормативными правовыми актами РФ специальные меры безопасности, снижающие риск аварий. В работе проводится оценка эффективности проектных решений, направленных на снижение риска аварий на переходах МГ через автомобильные и железные дороги. Основное внимание в работе уделено следующим мерам по снижению риска аварий на МГ:

- размещение запорной арматуры на переходе через автомобильные и железные дороги;
- повышение качества участка МГ на переходе;
- применение защитного футляра и прокладка в тоннеле;
- углы пересечения МГ и дороги.

Оценка эффективности проектных решений проводилась на основе результатов количественного анализа риска аварий. Расчет показателей риска аварий на МГ с учетом реализации мер, направленных на снижение риска аварий, позволил сделать ряд выводов, имеющих практическое значение, а именно:

- установка кранового узла практически не влияет на потенциальный риск в пределах полотна дороги;
- повышение качества участка МГ на переходе в пределах нормативного участка примыкания уменьшает потенциальный риск на территории, примыкающей к полотну дороги, но на самом полотне дороги изменение риска незначительно;
- увеличение длины участка примыкания сверх норматива приводит к снижению риска на полотне дороги;
- изменение длины футляра на переходе в пределах 25–50 м от насыпи незначительно влияет на потенциальный риск на полотне дороги.

По результатам проведенного исследования разработаны рекомендации по повышению эффективности проектных решений, направленных на снижение риска аварий на переходах МГ через автомобильные и железные дороги.

## **Формирование требований к технологии и организации предварительных испытаний участков газопроводов**

*Ю.А. Маянц, С.В. Карпов, Д.И. Ширяпов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Современное трубопроводное строительство должно быть эффективным, качественным и безопасным.

Основным условием достижения этой цели является проведение предварительных гидравлических испытаний, которые решают задачи:

- гарантии качества и безопасности предварительно испытанных участков;
- обеспечения безопасности при выполнении основного этапа испытаний;
- сокращения сроков и стоимости выполнения основного этапа испытаний.

Предварительные испытания следует рассматривать не как начальный этап испытаний газопровода, а как завершающий этап строительства его участка.

В докладе рассмотрены вопросы назначения протяженности участков предварительных испытаний и охранных зон.

Показано, что при определенных условиях предварительные испытания могут быть безопасны и гарантируют надежность на локальном участке при проведении заключительного этапа испытаний, в результате чего можно не прерывать трафик и хозяйственную деятельность на отдельных участках в охранных зонах испытываемого трубопровода.

Снижение стоимости и сокращение сроков заключительного этапа после корректно проведенных предварительных испытаний происходит за счет сокращения затрат на организацию охранных зон и обеспечение безопасности, снижения рисков отказов.

## **Анализ опыта предупреждения образования гидратов в газопроводах-отводах и на ГРС**

*В.В. Капыш (ООО «Газпром трансгаз Волгоград»),  
В.А. Истомин (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Проанализирован опыт практической работы по предотвращению образования газовых гидратов в системах транспорта газа, накопленный в ООО «Газпром трансгаз Волгоград» за последние несколько лет. Выделены характерные случаи, что позволяет этот опыт использовать на других газотранспортных предприятиях. Принято считать, что если влажность газа соответствует требованиям стандарта на транспортируемый газ, то в газопроводе-отводе (ГО) не будет происходить образование гидратов. В тех же случаях, когда гидраты образуются, главным способом борьбы с ними является применение метанола. Действительно, для кондиционного по влажности газа гидраты не будут образовываться, если на ГО и ГРС нет «узких мест».

В докладе рассмотрены причины, по которым те или иные места становятся «узкими», приведены конкретные примеры: размыв грунта или его осадка над ГО или на крановой площадке, длинные надземные участки ГО и отсутствие на них теплоизоляции, повышенная влажность почвы, местные сужения ГО и др. Даны рекомендации по их устранению. Акцент сделан на методах предотвращения образования гидратов, не требующих больших затрат.

Условием образования гидратов является наличие воды в ГО. В докладе подробно рассмотрены причины появления воды и способы ее выявления в ГО.

Применение предложенных мероприятий, рассмотренных в докладе, позволило в ряде случаев исключить образование гидратов либо значительно уменьшить вероятность их образования.

## **Береговые примыкания морских газопроводов: выбор технологии строительства с учетом оценки геологических опасностей**

*С.Г. Миронюк (ООО «Газпром инжиниринг»)*

Инженерно-геологические условия прибрежных участков морских газопроводов, как показал опыт ООО «Питер Газ», являются сложными (СП 11-114-2004) и требуют детального изучения геологических опасностей.

На черноморском побережье Краснодарского края в зависимости от локальных геоморфологических и геологических условий применялись как бестраншейные способы строительства газопроводов (Джубга – Лазаревское – Сочи), так и наиболее экономичный способ – укладка трубопровода в предварительно подготовленную траншею (Россия – Турция). Наиболее сложным для строительства является участок берегового примыкания проектируемого газопровода «Южный поток». Здесь с учетом значительной крутизны склонов (40–70° и более) приморского низкогорного хребта, развития блоковых скальных оползней проектируется строительство микротоннелей.

Пересечение береговой линии в бухте Портовая (Балтийское море, газопровод Nord Stream) осуществлено траншейным методом. Глубина траншеи назначалась на основании параметров, характеризующих экзарационные и литодинамические процессы. Для обеспечения устойчивости морского газопровода и защиты антикоррозионной изоляции здесь, а также при реализации других проектов применялось сплошное бетонное утяжеляющее покрытие труб.

Аналогичный способ строительства трубопровода планируется осуществить при пересечении береговой линии в бухте Опасова (проект освоения Штокмановского ГКМ). Максимальные размывы дна здесь составляют 0,4 м, что совпадает с толщиной песчаного слоя. К основным особенностям геологического строения указанного участка строительства относится повсеместное распространение древнейших скальных пород высокой прочности.

В Байдарацкой губе при строительстве газопровода Бованенково – Ухта учитывались процессы переформирования дна и экзарации, а также наличие ММП в береговой зоне и склонность донных грунтов к разжижению при волновых воздействиях. В соответствии с проектными решениями трубопровод-коллектор Киринского ГКМ (Охотское море) также был уложен в траншею и засыпан с целью защиты от ледовой экзарации, абразии и штормовых деформаций дна.

## **Исследование устойчивости морских трубопроводов при изменении свойств мерзлых грунтов в криолитозоне мелководной зоны Арктического шельфа**

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

Обеспечение необходимого уровня надежности морских трубопроводов закладывается на этапах проектирования и сооружения, а осуществляется на этапе эксплуатации. Однако условия эксплуатации трубопроводов в значительной степени могут отличаться от условий, принимаемых на стадии проектирования, что объясняется невозможностью полностью предусмотреть все факторы. Поскольку в акваториях Арктического континентального шельфа России в донных грунтах на относительно небольших глубинах достаточно широко распространены мерзлые грунты, то одним из таких факторов является тепловое взаимодействие трубопроводов с данными грунтами.

Подобное тепловое воздействие может изменить пространственное положение трубопровода вследствие возникновения его продольных и поперечных перемещений, связанных с прогрессирующим оттаиванием грунта в процессе длительной эксплуатации трубопровода или промерзанием окружающего грунта при сезонном изменении температурного режима транспортируемого продукта. В свою очередь возникающие при этом дополнительные напряжения изгиба могут вызывать перестройку напряженно-деформированного состояния стенки трубопровода с уменьшением его эксплуатационной надежности и долговечности.

Таким образом, достаточный уровень безопасности по отношению к таким случайным природным воздействиям, как оттаивание и промерзание грунта, должен обеспечиваться еще на стадии проектирования.

Рассмотрению проблем обеспечения прочности морских трубопроводов, обусловленных теплофизическими изменениями структуры грунта при его оттаивании и промерзании под действием различных эксплуатационных режимов трубопровода, посвящен представленный доклад.

## **Исследование русловых процессов при выборе места створа подводного перехода**

*М.А. Шишук  
(РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина)*

Для обеспечения надежности подводного перехода при проектировании трубопровода необходимо обеспечить правильный выбор места створа подводного перехода и технологии строительства, провести качественное и количественное исследование характеристик реки, влияющих на эксплуатацию трубопровода в будущем.

В работе предлагается модель для определения параметров потока при выборе места створа подводного перехода. С этой целью разработана классификация русловых процессов, основанная на данных ROSGEN LEVEL II, учитывающая качественные и количественные характеристики потока, особенности поведения рек в различных природно-климатических условиях и свойства типов грунтов, залегающих на дне водоемов.

В работе представлены материалы, характеризующие каждый русловой процесс в отдельности и их влияние на надежность расположения створа подводного перехода. Это позволяет при выборе места створа подводного перехода принять наиболее благоприятный по режиму русловых и береговых деформаций вариант.

Основным критерием выбора места створа подводного перехода является стабильность конкретного руслового процесса относительно проектных параметров подводного перехода и наиболее благоприятные условия для строительства и эксплуатации трубопровода с учетом метода прокладки.

Данная модель рассмотрена на примере участка реки Печора км 842,70 – км 847,45, Республика Коми, Россия. По характеристикам потока определен тип руслового процесса участка реки Печора, дана оценка надежности места створа подводного перехода и выбрана предпочтительная технология строительства.

## **Звукоизоляция технологических трубопроводов**

*А.Л. Терехов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
А.В. Сидорина (ООО «К-ФЛЕКС»)*

В технологических схемах обвязки оборудования газотранспортных систем присутствуют участки с повышенным шумоизлучением. Для приведения значений по уровню звукового давления к нормативным необходимо производить акустическую обработку трубопроводов и прочих звукоактивных элементов. Выбор материала либо конструкции зависит от конкретных превышений, измеренных по участкам.

При применении материалов в качестве звукоизоляции необходимо руководствоваться данными по звукоизолирующей способности согласно акустическому спектру, учитывая также размеры и форму изолируемого трубопровода, фасонных элементов и узлов.

Выбор материала также должен быть продиктован акустической и финансовой целесообразностью, ремонтпригодностью, а также реакцией на коррозию и вибрации. Технические данные различных материалов должны быть подтверждены в соответствующих лабораториях.

Применение технических ват, мастик, жестких вспененных материалов не всегда способны решить поставленные задачи и отвечать требованиям.

В настоящее время существуют перспективные разработки по эластомерным многослойным тепло-звукоизолирующим покрытиям, способным решать широкий круг задач по звукоизоляции промышленных трубопроводов и прочих звукоактивных элементов. Кроме высокой звукоизолирующей способности материалы и конструкции на их основе ремонтпригодны и долговечны, не провоцируют коррозию, устойчивы к воздействию вибраций.

Успешный опыт применения был подтвержден звукоизоляцией ГРП 16 «Мострансгаз». Проведенные тесты по снижению вибрации и шуму позволяют сделать вывод о больших перспективах применения тепло-звукоизоляционных эластомерных конструкций на объектах ПАО «Газпром».

**СЕКЦИЯ «В»**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО  
И ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ**

28–29 октября 2015 г.

## **Газокомпрессорная техника ПАО «Газпром»: текущее состояние и перспективы развития**

*В.А. Середёнок, В.В. Седов (ПАО «Газпром»),  
С.Ю. Сальников, А.В. Сёмушкин,  
В.А. Щуровский (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В настоящее время в ПАО «Газпром» эксплуатируются более 4530 газоперекачивающих агрегатов (ГПА) суммарной мощностью 52,32 млн кВт. В структуре парка ГПА основным является газотурбинный двигатель.

Для формировавшегося в течение почти пятидесяти лет парка ГПА характерно большое разнообразие оборудования по типоразмерам и возрасту.

Для организации комплексного и системного решения указанной проблемы в 2009 г. разработана Научно-техническая политика ОАО «Газпром» в области газоперекачивающей техники, которая определяет направления, приоритеты, цели, задачи и формы деятельности по обеспечению потребностей ПАО «Газпром» в современном и высокоэффективном газоперекачивающем оборудовании на период до 2020 г.

Отраслевым научным центром газовой промышленности ООО «Газпром ВНИИГАЗ» разработана нормативная база, обеспечивающая единство требований потребителя, методологии выбора оборудования и контроля качества на всех стадиях жизненного цикла.

Современные направления развития ГПА: соответствие технического уровня лучшим мировым практикам, унификация конструкции для нужд потребителя, импортозамещение.

Увеличение производственной мощности новых магистральных газопроводов (МГ) за счет повышения рабочего давления обеспечивает возможность оснащения линейных компрессорных станций газоперекачивающим оборудованием единичной мощностью 32(35) МВт.

Для строительства и реконструкции компрессорных ПХГ с морально и физически устаревшими поршневыми газомоторными компрессорами разработаны ГПА единичной мощностью 4, 10 и 16 МВт.

Технологические потребности дожимного комплекса обеспечиваются в широком диапазоне мощностей, давлений и степеней сжатия за счет оптимизации СПЧ и унификации с ГПА для МГ и ПХГ.

## **Компрессорное оборудование НПО «Искра». Новые разработки**

*В.Б. Шатров, М.И. Соколовский, С.И. Бурдюгов, Ю.П. Ерышкин,  
Е.Л. Селянская, С.В. Касьянов (ПАО «НПО «Искра»)*

НПО «Искра» изготовило и поставило для газотранспортных предприятий, предприятий дожимного комплекса, станций подземного хранения газа и нефтегазоперерабатывающих предприятий более 200 единиц компрессорного оборудования.

По результатам ввода в эксплуатацию более 150 компрессоров и СПЧ была разработана система анализа потенциально возможных рисков возникновения проблемных ситуаций при вводе в эксплуатацию и эксплуатации оборудования для исключения указанных рисков на этапе проектирования.

С учетом опыта отработки компрессоров и исследовательских работ на предприятии постоянно ведутся разработки по обеспечению повышения эффективности, качества и надежности продукции.

Все разрабатываемое оборудование предусматривает применение передовых наукоемких технологий, позволяющих снизить затраты на изготовление, обслуживание оборудования и повысить эффективность транспорта газа.

В настоящее время разработаны новые типоразмерные ряды компрессоров в одно- и двухсекционном исполнении. Первые партии компрессоров прошли испытания на заводском стенде ПСИ и переданы заказчику.

Технические характеристики оборудования соответствуют современному техническому уровню и не уступают по характеристикам оборудованию зарубежного производства.

Для линейных компрессоров политропный КПД повышен на 2–3 % по сравнению с аналогами, ранее производимыми в НПО «Искра», при увеличении зоны экономичной работы на 10–30 %. При этом обеспечена динамическая устойчивость ротора. Реализованы мероприятия по обеспечению защиты патронов СГУ от попадания паров масла смазки из подшипников и газа из проточной части.

Начиная с 2001 г. НПО «Искра», участвуя в поставке оборудования по программам импортозамещения, поставляет на объекты заказчика центробежные компрессоры и сменные проточные части шести типов.

## **Возможности ОАО «Казанькомпрессормаш», «Группа ГМС», по поставкам компрессорного оборудования**

*Е.А. Новиков, А.П. Харитонов, Д.В. Пашинкин  
(ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», Группа ГМС)*

ОАО «Казанькомпрессормаш» и ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» – единый научно-производственный комплекс с централизованным управлением на уровне машиностроительного холдинга «Группа ГМС». ЗАО «НТК» создано более 420 наименований компрессоров различного типа. Около 4,7 тыс. центробежных и более 16,8 тыс. винтовых и роторных компрессорных установок изготовлены по документации ЗАО «НТК» на шести серийных заводах России и ближнего зарубежья. По требованиям заказчика ОАО «ККМ» поставляет как отдельный компрессор (нагнетатель), так и комплексную установку или станцию с монтажом и вводом в эксплуатацию на территории заказчика. Конструктивные особенности и преимущества решений ОАО «ККМ»:

- газоперекачивающие агрегаты выполняются в блок-контейнерах и легкоборных зданиях с блочной комплектацией всех систем;
- конструкция нагнетателя позволяет устанавливать проточные части на весь ряд мощностей двигателей и получать высокий политропный КПД на требуемое конечное давление 56; 76; 85; 100 кгс/см<sup>2</sup> и отношения давлений 1,36; 1,44; 1,5; 1,7; 2,0; 2,2; 3,0;
- применение пространственных лопаток рабочих колес и безлопаточного диффузора обеспечивает получение политропного КПД в рабочей точке до 85 % и широкий диапазон эффективной работы нагнетателя;
- каждый агрегат проходит контрольную сборку на заводе генерального поставщика, что обеспечивает минимальные издержки при монтаже агрегата;
- использование в нагнетателях торцевых масляных или «сухих» газодинамических уплотнений в зависимости от технических требований заказчика;
- использование в нагнетателях гидродинамических масляных подшипников или электромагнитных подшипников, не требующих установки маслосистемы, в зависимости от технических требований заказчика;
- ОАО «ККМ» – традиционный производитель широкой линейки компрессорного оборудования для транспорта газа и закачки газа в пласт и подземные хранилища.

## Поставка ГТА для энергообеспечения объектов газотранспортной сети

*Е.В. Гузаев, А.Н. Морозов  
(ОАО «ОДК – Газовые турбины»)*

ОАО «ОДК – Газовые турбины» является головной компанией АО «ОДК» по производству энергетических и газоперекачивающих комплексов.

Статус головной компании корпорации накладывает серьезные обязательства в отношении контроля качества продукции, что мотивировало на создание собственной испытательной базы на территории предприятия. Контрольные заводские испытания позволяют обеспечить контроль качества и отладку как серийно изготавливаемых агрегатов, так и новых разработок с целью выявления недостатков до момента передачи заказчику.

ОАО «ОДК – Газовые турбины» предлагает своим заказчикам широкий выбор энергетических агрегатов различной мощности, созданных с использованием газотурбинных приводов, производимых предприятиями, входящими в состав АО «ОДК», а также импортными производителями в зависимости от требований заказчиков. Все агрегаты, входящие в модельный ряд, по желанию заказчика поставляются в цеховом и блочно-контейнерном исполнении. Продукция отличается компактностью, небольшим сроком изготовления и монтажа.

Энергетические агрегаты с газотурбинным приводом представлены в классе мощности от 2,5 до 25 МВт, газопоршневые энергетические установки – от 0,8 до 4,0 МВт.

ОАО «ОДК» выполняет полный комплекс инженеринговых услуг: от проектирования и изготовления до сдачи в эксплуатацию, а также сервисного обслуживания газотурбинных агрегатов.

## **«РусТурбоМаш» – локализованное компрессорное оборудование для нефтегазового комплекса**

*Д.А. Коробко (ООО «Сименс»)*

Во время Петербургского международного экономического форума в июне 2015 г. было открыто новое производство – ООО «РусТурбоМаш» (100%-ное дочернее предприятие «Сименс АГ»). «РусТурбоМаш» является узнаваемым брендом компрессорного производства в России, использующего современные, высококачественные технологии «Сименс», в частности высококачественное компрессорное оборудование.

Высокий КПД производимых компрессоров позволяет заказчикам добиваться сокращения затрат на протяжении всего жизненного цикла компрессора и минимизировать время на выполнение монтажных и пуско-наладочных работ.

На новой производственной площадке «Рустурбомаш» продолжит локальное производство центробежного компрессорного оборудования для транспортировки природного газа и других целей в нефтегазовом комплексе.

## **Опыт ОАО «ОДК – ГТ» в проектировании и изготовлении ГПА в минимальные сроки**

*Е.В. Гузаев, А.В. Яблоков (ОАО «ОДК – Газовые турбины»)*

В рамках сотрудничества ОАО «ОДК-ГТ» и ПАО «Газпром» разработаны и поставляются газотурбинные установки и газоперекачивающие агрегаты мощностью 4, 6,3, 8, 10, 16 и 25 МВт. Важным преимуществом использования ГПА производства ОАО «ОДК-ГТ» является то, что в его конструкции минимально используются импортные комплектующие, что повышает конкурентоспособность ГПА по отношению к зарубежным аналогам. Агрегаты спроектированы и изготовлены по современным передовым технологиям и отвечают всем требованиям заказчика.

В процессе разработки агрегатов потребовалось применение перспективных и прогрессивных решений – это пожарно-охранное видеонаблюдение, система топливопитания на основе дозатора газа прямого действия, использование газомасляного теплообменника, двухступенчатый шумоглушитель, фильтрация воздуха обдува двигателя, повышенная толщина панелей шумоглушения, двухступенчатая система очистки циклового воздуха с перспективой перехода на одноступенчатый способ очистки, максимальная автономность обеспечения систем ГПА от собственных источников (барьерный воздух для ЦБК, обогрев помещений ГПА от утилизации выхлопных газов и т.д.).

Типизация и унификация технических решений, 3D моделирование узлов и систем агрегата, виртуальные сборки систем и всего агрегата (для выявления ошибок при проектировании), распараллеливание процессов проектирования и производственных процессов позволили значительно минимизировать сроки выпуска товарной продукции для заказчика.

Результаты проектирования и расчетов проверяются во время проведения макетной/контрольной сборки агрегата. Производственные возможности ОАО «ОДК-ГТ» позволяют проводить макетную сборку агрегата в объеме, максимально приближенном к сборке полнокомплектного агрегата на объекте эксплуатации.

ОАО «ОДК-ГТ» с 2015 г. располагает еще одним инструментом, который позволяет проверить качество изготовления и сборки ГПА, – это проведение комплексных испытаний ГПА на унифицированном испытательном стенде, введенном в эксплуатацию во втором полугодии 2015 г.

## **Новые бизнес Siemens – новая расширенная линейка решений для нефтегазовой отрасли**

*С.А. Леонтьев (ООО «Сименс»)*

В 2015 г. завершились процессы слияния-поглощения корпорацией Siemens двух мировых лидеров в компрессоростроении и газотурбинном двигателестроении – компаний Dresser Rand и Rolls Royce конвертированные Авиационные газовые турбины (ADGT). В результате в составе корпорации Siemens образовалось новое глобальное структурное подразделение, получившее название Dresser Rand a Siemens business.

Какие преимущества получают заказчики и конечные пользователи нового подразделения? Какая продуктовая линейка будет представлена на нефтегазовых рынках? В чем заключается синергетический эффект?

Прежде всего Siemens расширяет свое присутствие на различных рынках нефтегазовой отрасли во всем мире. Так, на рынке компрессоров для транспорта газа это происходит за счет компрессоров серии DATUM, имеющих самые высокие в мире показатели эффективности. Расширяется мощностной ряд приводов за счет использования 60-мегаватного Trent60. Линейка решений для сектора добычи расширилась за счет поршневых компрессоров Dresser Rand.

Важным преимуществом является широкая представленность нового бизнеса в мире и России с точки зрения производственных площадок и сервисных центров. Это позволяет в большей степени, чем когда бы то ни было обеспечивать поддержку заказчиков и конечных пользователей.

В докладе рассматриваются некоторые конкретные решения из новой расширенной линейки.

## **Газокомпрессорный агрегат нового поколения для дожимных компрессорных станций попутного нефтяного газа с промежуточным циклом низкотемпературной сепарации**

*О.Е. Васин (ОАО «НОВАТЭК»)*

В докладе рассматриваются проблемы применения газокомпрессорного агрегата (ГКА) с двухступенчатыми центробежными компрессорами (ЦБК) с промежуточными охлаждениями, в том числе выполнен анализ существующих кинематических схем ГКА с точки зрения эффективности, надежности и ремонтпригодности.

На основе вышеизложенного предлагается к применению разработанный ОАО «НОВАТЭК» ГКА нового поколения для дожимных компрессорных станций (ДКС) попутного нефтяного газа (ПНГ) с промежуточным циклом низкотемпературной сепарации. Принципиальное отличие указанного ГКА состоит в применении в его составе двухвального мультипликатора, обеспечивающего передачу крутящего момента от приводного газотурбинного двигателя к двум, параллельно расположенным центробежным компрессорам первой (попутный нефтяной газ) и второй (сухой отбензиненный газ) ступеней, работающих на различных номинальных оборотах.

ГКА с вышеуказанной компоновкой могут с высокой эффективностью применяться не только на ДКС ПНГ, но и промысловых ДКС, а также ДКС ПХГ. Кроме того, применение многовальных мультипликаторов в компоновке ЦБК позволит реализовать идею «гибридных» ГКА с установкой дополнительно к I и II ступени ЦБК мотор-генератора инверторного типа со свободными оборотами.

## **Реализация проекта «Совершенствование стационарной ГТУ импортного производства с внедрением передовых отечественных разработок»**

*А.О. Прокопец, Д.В. Косачев  
(ООО «Газпром трансгаз Югорск»),  
О.В. Комаров*

*(Уральский федеральный университет им. Б. Ельцина)*

На компрессорных станциях магистральных газопроводов широкое применение в качестве привода центробежного нагнетателя природного газа нашли зарубежные двухвальные газотурбинные установки типа ГТК-25И(Р) простого и регенеративного циклов. Отличительной особенностью данного типа установок является наличие поворотного соплового аппарата силовой турбины и регулируемого входного направляющего аппарата осевого компрессора, что обеспечивает возможность реализовать оптимальную программу управления установкой.

На производственной площадке ООО «Газпром трансгаз Югорск» в соответствии с комплексным проектом совершенствования газотурбинной установки указанного типа апробированы в промышленной эксплуатации разработки отечественных компаний по повышению экологических и экономических показателей ГТУ:

- в состав агрегата внедрена камера сгорания ПСТ, что позволило получить уникальные экологические показатели разработки (выбросы  $\text{NO}_x$  менее  $30 \text{ мг/м}^3$ ), соответствующие современным мировым нормам (разработчик – ООО «НПФ «Теплофизика», г. Уфа);

- для реализации оптимальной программы управления установкой и обеспечения максимально благоприятных режимов работы камеры сгорания внедрено устройство стабилизации частоты, что позволяет в процессе эксплуатации иметь переменную частоту вращения ротора турбокомпрессора (разработчик – ЗАО «Робитекс», г. Екатеринбург);

- обоснован выбор оптимальной программы управления установкой. Предложен, реализован и апробирован соответствующий алгоритм регулирования. По результатам сравнительных испытаний показано повышение топливной экономичности ГТУ на 4,5–10 % в зависимости от климатических условий и режима загрузки ГТУ (разработчики – Уральский федеральный университет им. Б. Ельцина, г. Екатеринбург; ООО «Вега-ГАЗ», г. Москва).

## **Газодинамическое проектирование центробежных компрессоров для газовой промышленности: специфика и особенности**

*Ю.Б. Галеркин, А.Ф. Рекстин, К.В. Солдатова, А.А. Дроздов  
(НИЛ «Газовая динамика турбомашин»  
ОНТИ Санкт-Петербургского политехнического  
университета Петра Великого)*

Безразмерное число оборотов компрессоров линейных газоперекачивающих агрегатов (ГПА) определяется их производительностью, заданными давлениями газа на входе и выходе, частотой вращения привода. От принятого проектировщиком количества ступеней компрессора зависят два главных параметра проектирования – расчетные условный коэффициент расхода и коэффициент теоретического напора. При оптимальном коэффициенте расхода достигается минимум суммы всех видов потерь напора. Для компрессоров ГПА рекомендуются небольшие коэффициенты теоретического напора. При этом возможно получение максимального КПД, наилучший запас по помпажу и минимум потребляемой мощности в расчетной точке.

Рекомендации иллюстрируются известными формулами и эмпирическими соотношениями, предложенными авторами. Обоснованы рациональные области применения рабочих колес с цилиндрическими и пространственными лопатками, безлопаточных и лопаточных диффузоров. Представлена краткая информация о применяемой системе проектирования и результатах работы в интересах промышленности.

## **Радиальные и осерадиальные рабочие колеса центробежных компрессоров – преимущества, недостатки, область применения**

*Ю.Б. Галеркин, А.Ф. Рекстин, К.В. Солдатова, А.А. Дроздов  
(НИЛ «Газовая динамика турбомашин»  
ОНТИ Санкт-Петербургского политехнического  
университета Петра Великого)*

Приведены упрощенные уравнения для расчета размеров входа и уровня скоростей для рабочих колес с пространственными лопатками, расположенными в осевой и радиальной части колеса (ОРК) и с непροстранственными лопатками в радиальной части (РК). Изложены соображения по поводу коэффициентов потерь ОРК и РК при разных расчетных коэффициентах расхода. Показана тенденция уменьшения потенциальных преимуществ ОРК при средних и малых расчетных коэффициентах напора. Приведены данные о высокоэффективных компрессорах и ступенях на базе непροстранственных рабочих колес со средними коэффициентами расхода по проектам авторов. Достигнутый уровень КПД 88–90 % делает сомнительным дальнейшее повышение КПД за счет применения ОРК. Расчетный CFD-анализ вариантов ступени средней быстроходности с ОРК и РК выявил специфическую проблему осерадиальных колес. Конструктивное преимущество РК – возможность применить меньшее втулочное отношение – позволило получить больший КПД у варианта ступени на базе РК. Вместе с тем следует иметь в виду положительную тенденцию повышения быстроходности приводных газовых турбин, при которой востребованы ступени с большими коэффициентами расхода с ОРК, что открывает путь к улучшению массогабаритных показателей и повышению КПД.

## **Проблемы и перспективы развития дожимного комплекса Комсомольского и Западно-Таркосалинского ГП**

*А.В. Сёмушкин, С.С. Михеев (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Комсомольское и Западно-Таркосалинское месторождения в настоящее время разрабатываются на этапе падающей добычи, приближаясь к завершающей стадии эксплуатации, характеризующейся низким устьевым давлением скважин, скапливанием жидкости на забое скважин, накапливанием пластовой жидкости в трубопроводах газосборной сети, работой оборудования подготовки и компримирования газа на неэффективных режимах с низкой загрузкой.

В настоящее время наблюдается существенное отклонение показателей разработки Комсомольского и Западно-Таркосалинского месторождений от утвержденных проектными документами. При фактическом темпе падения устьевого давления и существующем оснащении дожимной комплекс не сможет обеспечить проектные показатели разработки рассматриваемых месторождений с 2017 г.

Для решения подобных проблем разработки месторождений на завершающей стадии эксплуатации в качестве пилотного проекта на Вынгапуровском месторождении внедряется технология распределенного компримирования газа (применение мобильных компрессорных установок (МКУ) в системе сбора пластовой продукции).

Для оценки развития дожимного комплекса Комсомольского и Западно-Таркосалинского месторождений по тому же пути был проведен технико-экономический анализ различных вариантов применения МКУ при предельных (с точки зрения возможностей скважин) добычных возможностях.

Проведенный технико-экономический анализ показал, что развитие дожимного комплекса с применением технологии распределенного компримирования является рентабельным с точки зрения экономических показателей.

Рекомендуемые к реализации варианты предусматривают ввод в эксплуатацию в 2018 г. 21 ед. МКУ на Комсомольском и 9 ед. МКУ на Западно-Таркосалинском месторождениях.

## Оценка эффективности применения низконапорных и высокорасходных проточных частей в центробежных компрессорах агрегатов ГПА-Ц-16

*А.Д. Ваняшов, А.В. Крупников, Е.М. Васенко  
(ОАО «Сибнефтетранспроект»)*

За многолетнюю практику эксплуатации на многих участках газотранспортной системы (ГТС) имеют место и планируются в перспективе так называемые «низконапорные» режимы транспортировки газа, при которых отношение давлений на КС составляет в пределах 1,3–1,4. Традиционно применяемые проточные части центробежных компрессоров (ЦБК) с расчетным отношением давлений 1,44 в этом случае эксплуатируются с увеличенным потреблением энергоресурсов (работа в правой части газодинамической характеристики с увеличенным расходом и низким политропным КПД).

В работе выполнена оценка эффективности замены проточной части в корпусах ЦБК на низконапорные и высокорасходные с отношением давлений в расчетной точке 1,35 (СПЧ-16/76-1,35) на примере ГПА-Ц-16, оснащенных базовыми ЦБК типа НЦ-16/76-1,44 с приводом от ГТД НК-16СТ и НК-16-18СТ. В качестве критерия эффективности применения СПЧ различных типов использовалось отношение расхода топливного газа к производительности КЦ. Расчеты выполнялись на основе трех подходов:

- упрощенный оценочный расчет для фиксированной производительности КЦ от 99 до 126 млн м<sup>3</sup>/сут при прочих равных условиях на входе и выходе и числе рабочих ГПА показал эффект от применения СПЧ-16/76-1,35 в сравнении с базовыми 1,5–5,7 %;
- уточненный расчет по модели участка ГТС с распределением нагрузки между КЦ в пределах КС и между КС в годовом цикле эксплуатации с поквартальной дискретизацией для характерных суточных режимов; годовые показатели экономии топливного газа получены в размере от 3,3 до 4,6 % для различных КС;
- на основе анализа опыта эксплуатации одной из КС, где часть КЦ оснащены СПЧ-16/76-1,35, экономия составила 1,1–5,0 %.

Таким образом, на основе полученных результатов ожидаемая максимальная годовая экономия топливного газа может составлять до 5 %.

Выполнена оценка технологических рисков, связанных с неподтверждением заявленного уровня политропного КПД 86 % (вероятно снижение на 1–2 % из-за больших скоростей в патрубках ЦБК), а также номинального числа оборотов ротора 5300 об/мин (вероятное снижение на 5–6 %). В том и другом случае экономия топливного газа снижается на 0,9–1,1 %.

## **Повышение эффективности работы установок охлаждения газа дожимной компрессорной станции при снижении объемов компримирования**

*И.А. Январёв*

*(Омский государственный технический университет),*

*А.В. Крупников, А.Д. Ваняшов*

*(ОАО «Сибнефтетранспроект»)*

Снижение пластового давления и объемов добычи газа на месторождениях обуславливает применение сменных проточных частей газовых компрессоров, обеспечивающих с учетом оптимального расходования энергоресурсов увеличение на дожимной компрессорной станции (ДКС) суммарного отношения давлений с целью поддержания необходимых транспортных параметров газа и проектной производительности месторождения.

Повышение эффективности работы установок воздушного охлаждения газа ДКС в этих условиях требует учета всего комплекса изменяющихся параметров и соответствующего регулирования. С одной стороны, это определяет новую компоновку имеющихся на ДКС аппаратов воздушного охлаждения (АВО), например, при переходе ее работы на две и более ступеней сжатия. С другой стороны, в условиях постепенного снижения объемов добычи газа в течение многолетней эксплуатации необходимо определить оптимальное число включенных в процесс охлаждения АВО, общее число работающих вентиляторов или долю загрузки всех вентиляторов при частотном регулировании.

Объектом исследования в общем случае является технологический участок, включающий две и более ступени сжатия (компрессорные цеха ДКС), после каждой из которых расположены установки воздушного охлаждения газа (УВОГ), установка очистки газа, линейный участок, следующая компрессорная станция.

Определение рекомендуемых температур охлаждения газа в АВО и других оптимизационных параметров было проведено в соответствии с разработанной методикой на этапе энергетической оптимизации для заданной части технологического участка.

Проведенный анализ показывает, что постепенное снижение числа включенных в процесс охлаждения АВО, образующих УВОГ после каждой ступени сжатия, позволяет уменьшить требуемое количество работающих вентиляторов (долю загрузки всех вентиляторов) при снижении объемов компримирования и в результате снизить потребление энергоресурсов примерно на 20–25 %.

## **Применение двигателей малой мощности в аппаратах воздушного охлаждения газа**

*В.А. Лифанов, А.А. Авдонин (ООО «НПК «ОйлГазМаш»)*

На основании проведенных ЗАО «Гидроаэроцентр» натурных и стендовых испытаний аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа, в том числе и на аппаратах АВГ-85МГ ООО «НПК «ОйлГазМаш», а также эмпирических расчетов в АВО можно использовать электродвигатели малой мощности.

Наиболее предпочтительно применение высокооборотистых двигателей с устройством для снижения частоты вращения вала вентиляторного колеса до нормированных концевых скоростей лопастей.

Для этой цели ООО «НПК «ОйлГазМаш» использовало зубчатременную передачу, которая сочетает в себе положительные стороны как зубчатых, так и ременных передач.

С учетом обязательного осуществления регулирования тепловой мощности АВО использован двигатель с изменяемой собственной частотой вращения. Вентильный двигатель представляет собой электромеханическую систему, состоящую из электрической машины, полупроводникового коммутатора фазных обмоток, системы управления и датчика положения ротора, конструктивно объединенных в одном корпусе. Вентильный двигатель обладает основными достоинствами асинхронных двигателей и не имеет их недостатков.

Использование двигателей малой мощности позволяет не только уменьшить габаритные размеры шкафа НКУ, но и разместить систему управления АВО в одном корпусе на металлоконструкции аппарата. Контроль и управление работой вентиляторов АВО газа будут возможны с агрегатной САУ в автоматическом и дистанционном режиме управления, разработанной ООО «Газхолодтехника».

Предложенные конструктивные решения в АВО позволяют:

- уменьшить количество силовых кабелей, подводимых к АВО;
- уменьшить количество НКУ;
- исключить шкаф управления;
- снизить мощность конденсаторной установки;
- уменьшить размеры КТП или установить понижающий трансформатор.

## **Детальное моделирование процесса охлаждения газа в АВО ДКС**

*М.В. Смольянинов (ЗАО «Гидроаэроцентр»)*

Значительная часть газовых месторождений России находится в географических зонах с низкими температурами воздуха. При этом газ, поступающий с этих месторождений, имеет сложный состав и содержит воду. По мере падения пластового давления возникает необходимость использования дожимных компрессорных станций (ДКС). В процессе компримирования газ нагревается, и его необходимо охладить в АВО газа.

В процессе охлаждения газа в АВО одной из самых острых проблем является возможность его переохлаждения в холодные периоды, что может привести к образованию гидратов и закупорке труб АВО. Чтобы этого избежать, уже на стадии проектирования АВО необходимо провести детальное моделирование процессов охлаждения газа во всем объеме трубного пространства АВО, так как температура газа существенно меняется по рядам трубного пучка и длине труб. При этом определяющим фактором возникновения гидратов в АВО является температура внутренней стенки трубы, по которой протекает газ.

В рамках представленной работы на основе данных стендовых и натуральных испытаний разработана программа моделирования охлаждения газа в АВО с возможностью определения детальных температурных полей в трубном пучке АВО. В свою очередь на базе указанной программы разработана система рециркуляции воздуха в АВО газа, которая проходит апробацию в ООО «Газпром добыча Ноябрьск».

## Новые тенденции в разработке аппаратов воздушного охлаждения газа

*А.М. Данилюк (АО «Генборг»)*

В существующих аппаратах воздушного охлаждения газа (АВО) в качестве привода вентиляторов применяются известные на протяжении длительного времени асинхронные электродвигатели традиционной конструкции – с короткозамкнутым ротором, в вертикальном исполнении, мощностью от 6,5 до 90 кВт, с частотой вращения от 250 до 500 об/мин. Привод – безредукторный, прямой (колесо вентилятора устанавливается на вал электродвигателя), с питанием от промышленной трехфазной сети напряжением 380 или 660 В, в ряде случаев комплектуется частотным преобразователем для регулировки оборотов. Установка вентилятора непосредственно на вал электродвигателя позволяет исключить из состава привода редуктор, но в то же время низкие обороты не являются оптимальными для электрической машины в части материалоемкости и энергоэффективности.

Ведутся проектно-изыскательские работы по созданию электропривода для АВО на базе:

- электродвигателя с измененной конструкцией магнитной системы и обмоток (вентильные, вентильно-индукторные);
- системы управления и защиты.

При одинаковой мощности указанные электродвигатели обладают меньшими массо-габаритными показателями (от двух до трех и более раз), пониженным энергопотреблением (до 30 %), повышенными значениями КПД, коэффициента мощности и электромагнитного момента.

Система управления обеспечивает плавный запуск и возможность регулирования частоты вращения в широком диапазоне с целью оптимизации работы АВО (в составе группы АВО).

Конструктивные особенности указанных электродвигателей обеспечивают возможность уменьшить массо-габаритные показатели АВО за счет упрощения взаимной компоновки узлов электродвигатель-вентилятор.

Прямое сотрудничество предприятий (по производству электродвигателей и АВО), входящих в одну группу компаний, позволит в короткие сроки создать АВО нового поколения.

Проект нуждается в технической поддержке от структур ПАО «Газпром» в части подготовки и согласования технических параметров АВО нового поколения.

## **Утилизация потенциальной энергии давления природного газа для производства электроэнергии в турбодетандерах фирмы «Сименс»**

*А.И. Жуков (ООО «Сименс»)*

Мировая экономика диктует новые правила, и многие компании ищут возможности и технологии, которые сократят внутренние затраты на производство единицы продукции. Если посмотреть на каждое предприятие, то почти всегда можно найти тот или иной способ повысить собственную эффективность. Если на предприятии есть пар, то вместо простого редуцирования давления в РОУ вырабатывают механическую энергию для привода насосов и другого оборудования или электрическую энергию, которая покрывает часть собственных нужд предприятия, что в конечном итоге означает снижение удельных расходов топлива на предприятии и улучшение энергоэффективности. Помимо паровых турбин есть еще и газорасширительные турбогенераторные установки (турбодетандеры), где рабочим телом служит природный газ. Природный газ транспортируется по магистральным газопроводам под высоким давлением. На газораспределительных станциях его давление снижается, чтобы соответствовать требованиям систем газоснабжения конечных потребителей. Чаще всего это осуществляется путем дросселирования без использования энергии избыточного давления газа. При этом данная энергия может использоваться для выработки электроэнергии с помощью газорасширительных турбогенераторных установок.

Применение газорасширительных турбогенераторных установок Siemens – реальный способ повышения энергоэффективности за счет использования уже существующих ресурсов предприятия.

## **Современное состояние и направления развития средств внутритрубной диагностики трубопроводов компрессорных станций ПАО «Газпром»**

*В.Н. Воронин, И.Л. Вялых, В.Л. Лазарев,  
А.А. Каверин, И.В. Недопад, А.В. Липовик  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
О.В. Бурутин (ПАО «Газпром»)*

Внутритрубное диагностирование (ВТД) с использованием диагностических комплексов является составной частью комплекса диагностических и расчетных работ по оценке технического состояния и сроков безопасной эксплуатации технологических трубопроводов компрессорных станций (ТТ КС). Качественное выполнение данных работ напрямую зависит от реальных возможностей средств ВТД, систем сопровождения и обработки информации.

Определение возможностей современных средств ВТД ТТ КС осуществляется путем проведения унифицированных испытательных процедур, включающих в себя экспериментальные оценки технических, дефектоскопических и эксплуатационных характеристик диагностических комплексов на соответствие действующим требованиям ПАО «Газпром».

В докладе рассматриваются методические, организационные и технические особенности проведения испытаний средств ВТД. Представлена разработанная унифицированная структура этапов проведения испытаний, позволяющая выполнять проверки соответствия реально достигнутых характеристик средств ВТД техническим условиям на оборудование, состав, полноту и корректность эксплуатационной документации, возможность эксплуатации в реальных условиях с учетом технологических особенностей контролируемых объектов.

Представлены реальные технические возможности современных средств ВТД, применяемых на трубопроводах КС ПАО «Газпром». Приведены основные результаты, полученные при проведении испытаний средств ВТД ТТ КС ведущих разработчиков.

Проведен анализ результатов испытаний и определены основные направления развития и повышения эффективности средств ВТД ТТ КС.

## **Инженерная методика оценки показателей надежности технологических трубопроводов компрессорных станций**

*С.В. Нефёдов, М.Ю. Панов, В.М. Силкин,  
В.П. Столов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В настоящее время в ПАО «Газпром» разрабатывается Система управления техническим состоянием и целостностью площадных объектов газотранспортной системы (СУТСЦ ПО ГТС). Главная цель Системы – обеспечение требуемых надежности и безопасности эксплуатации ПО на основе объективного адресного планирования управляющих воздействий и оптимального распределения финансовых затрат. Планирование долгосрочных программ технического обслуживания, технического диагностирования и ремонта ПО в рамках СУТСЦ основано на количественной оценке показателей технического состояния, надежности и техногенного риска эксплуатации. Базовыми расчетными объектами Программы технического обслуживания, технического диагностирования и ремонта ПО являются компрессорный цех и технологические трубопроводы.

В докладе представлены основные положения методики оценки и прогнозирования показателей надежности технологических трубопроводов компрессорных станций. Методика разработана с учетом неполноты исходных данных о дефектности трубопроводов и позволяет по минимальному объему этих данных оценивать на текущий момент и прогнозировать на будущее необходимый спектр показателей надежности участков технологических трубопроводов компрессорных станций. Разработанный алгоритм является общим для различных типов дефектов. Специфические особенности, связанные с типом дефекта, учитываются только при вычислении значений параметра поврежденности, что упрощает применение разработанной методики на практике.

## **Опыт применения технических видеоэндоскопов General Electric для осмотра и анализа состояния газовоздушного тракта газотурбинных двигателей компрессорных станций**

*А.В. Елишев (ООО «ДжиИ Рус»)*

Технические эндоскопы являются обязательным инструментом производственных отделов компрессорных станций, занимающихся эксплуатацией и ремонтом ГПА. Производители ГТД выпускают соответствующую техническую документацию, где указаны те элементы проточной части ГТД, которые подлежат регулярному осмотру, критерии принятия решения по допуску в эксплуатацию, а также частота выполнения плановых осмотров и сроки проведения осмотров для продления ресурса ГТД.

Традиционные технические эндоскопы имеют определенные недостатки и ограничения, среди которых низкое качество изображений, большие габариты и ограниченные возможности применения в промышленной среде, отсутствие автономного питания, минимальные возможности по протоколированию и анализу полученных данных.

Для минимизации этих и других недостатков компания General Electric (GE) предлагает новейшие видеоэндоскопы, которые позволяют не только получить максимально качественные изображения проточной части, но и выполнить непосредственное измерение выявленного дефекта, включая линейные размеры и глубину дефекта. Кроме этого эти приборы позволяют сохранять фото- и видеоматериалы на внутренней памяти и внешних носителях, передавать посредством сети Интернет потоковое видео с видеоэндоскопа любому удаленному эксперту, а также оперативно создавать отчет о выполненном осмотре, используя унифицированный шаблон, составленный на основании инструкции по осмотру конкретного ГТД.

Одним из дочерних предприятий ПАО «Газпром», которое регулярно использует видеоэндоскопы GE для осмотра проточной части парка ГПА, является ОАО «Газпром трансгаз Беларусь». Например, использование видеоэндоскопа GE XLVU позволило специалистам одного из УМГ своевременно и достоверно выявить трещину внутреннего кожуха камеры сгорания, оценить ее размеры и после консультаций с заводом изготовителем согласовать возможность замены дефектного узла без отправки ГТД производителю, что позволило сэкономить значительные финансовые средства.

## Опыт испытаний многоступенчатых центробежных компрессоров для дожимных компрессорных станций ПАО «Газпром»

*В.К. Юн, А.С. Рейдер (АО «РЭП Холдинг»)*

При испытании центробежных компрессоров (ЦБК) природного газа с многоступенчатой неохлаждаемой проточной частью возникают отклонения газодинамических характеристик, получаемых на стенде предприятий на открытом воздухе и на месте эксплуатации при рабочих давлениях газа. Известно, что основными критериями при испытании проточных частей ЦБК являются критерии подобия, соблюдение которых в той или иной степени приближенности может оказать влияние на конечный результат получаемых при испытаниях и пересчетах газодинамических и кинематических характеристик – напор  $h$ , расход  $Q$ , политропический коэффициент полезного действия  $\eta_{пол}$  и эквивалентная частота вращения ротора  $n_{экв}$ . Если на номинальном (расчетном) режиме, соответствующем оптимальному политропному КПД, для многоступенчатых проточных частей (более 3-х ступеней сжатия) методика пересчета характеристик на сходных режимах справедлива и не дает больших отклонений от полученных в реальных условиях параметров, то на режимах, не соответствующих оптимальному, наблюдаются несоответствия с экспериментальными данными.

Как показывает опыт испытаний отдельных модельных ступеней и натуральных многоступенчатых проточных частей, составленных из геометрически подобных ступеней, всегда имеются отклонения от кинематических и динамических критериев подобий. Учет влияния критериев подобий на газодинамические характеристики проточных частей представлен в общеизвестных стандартах, однако нет объяснений тому, насколько точно они отражают действительную картину течения газа на режимах максимальной пропускной способности и предпомпажного состояния. Доказано, что на этих режимах преимущественно преобладает вращающийся срыв (либо в каналах рабочих колес, либо в каналах статорных элементов), при этом пульсации давлений и неравномерности скоростей достигают больших значений, соизмеримых с их средними значениями. Следовательно, кинематическое подобие треугольников скоростей и, соответственно, коэффициентов расхода и напора на этих режимах нарушается. На примере опытных данных можно сделать заключение, что необходимо вносить в формулы пересчета так называемый «коэффициент рассогласования».

## **Особенности испытаний газовых компрессоров ГПА в заводских и эксплуатационных условиях**

*А.Е. Лапицкий, Л.И. Козаченко,  
А.А. Королёв, А.В. Здоров  
(СУ «Леноргэнергогаз» ОАО «Оргэнергогаз»),  
Е.А. Терентьев (ООО «Газпром трансгаз Ухта»)*

Рассматривается ряд причин, приводящих к отличию стендовых характеристик центробежных компрессоров (ЦБК) от характеристик, полученных в эксплуатационных условиях. Поясняются причины немоделируемости некоторых процессов, протекающих в компрессоре на стендовых испытаниях.

Тема стендовых испытаний затрагивает вопросы организации модельных испытаний – выбор модельного газа, эквивалентной частоты вращения, начального давления.

Тема испытаний центробежных компрессоров в условиях компрессорных станций затрагивает проблемы не только испытаний, но и обстоятельств, предшествующих испытаниям, – обеспечение пуска и настройка системы противопомпажной защиты. В большей степени эти проблемы касаются компрессоров с магнитным подвесом. Главная проблема испытаний в эксплуатационных условиях – определение расхода через ЦБК. Конфузор, используемый в качестве стандартного расходомерного устройства – трубы Вентури, требует изготовления с соблюдением конструктивных условий, рекомендуемых для труб Вентури, а именно угол конфузора и расположение отбора «минус» перепада давления. Вторая по значимости проблема эксплуатационных испытаний – точность измерения температуры газа на входе – выходе ЦБК, обусловлена влиянием теплообмена от корпусов ЦБК по трубам до гильз датчиков температуры.

В рамках взаимного сотрудничества производителей и потребителей компрессорного оборудования (ПАО «Газпром») было бы исключительно полезно проводить стендовые испытания компрессоров еще на одной частоте вращения – 0,8–0,9 номинальной. Существующие методики пересчета характеристик на другие частоты вращения справедливы для одноступенчатых компрессоров. Распространение этих методик на многоступенчатые компрессоры не способствуют пониманию сложности процессов многоступенчатого сжатия.

Возникающие проблемы с осевым сдвигом роторов, особенно болезненные в компрессорах с магнитным подвесом, требуют контроля давления в задуммисной полости средствами САУ.

## Об унификации методик параметрической диагностики и расчета показателей технического состояния ГПА

*А.В. Сёмушкин, А.О. Подлозный, Е.А. Черникова,  
В.А. Щуровский (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Компрессорный парк ПАО «Газпром» отличается большим разнообразием ГПА по типам, размерности, поставщикам и возрасту (имеются 65 типов приводов, около 100 типов компрессоров и более 200 их комбинаций). САУ ГПА, САУ КЦ и системы диагностики также обладают большим разнообразием типов, возрастных поколений и технического уровня.

Критериями оценки технического состояния ГПА по мощности и энергоэффективности являются коэффициенты технического состояния (КТС) привода и газового компрессора.

В настоящее время КТС используются: при проектировании КС (нормативно), мониторинге эксплуатационных показателей, диспетчерском управлении ГТС, нормировании энергоресурсов, проведении всех видов контрольных испытаний (приемо-сдаточных, приемочных, эксплуатационных), для обеспечения потребностей СУТСЦ ПО.

Критерии и показатели технического состояния часто приобретают коммерческий характер, что стимулирует потребность в единстве их понимания и применения для всех участников указанных процессов, которое основано на следующих методических принципах:

- единая номенклатура КТС и единая методика их определения;
- оценка технического состояния выполняется сравнением фактических и эталонных характеристик ГПА;
- использование результатов многолетних предшествующих исследований и разработанных НТД;
- применение преимущественно штатно измеряемых параметров;
- разработка и создание банка данных эталонных теплотехнических и газодинамических характеристик ГТУ и ЦБК, единых для определенного типа ГТУ (ЦБК);
- использование индивидуальных параметров ограничения (уставок) ГТУ;
- возможность оценки технического состояния ГПА без изменения режимов эксплуатации (наряду с результатами эксплуатационных испытаний).

## **Комбинированные системы автоматического управления электроприводными газоперекачивающими агрегатами**

*А.С. Хлынин, О.В. Крюков (АО «Гипрогазцентр»)*

При проектировании технологических систем компрессорных станций выбор номинальной мощности газоперекачивающих агрегатов выполняется на основании прогноза объемов транспорта газа. Реальные объемы могут существенно отличаться от прогнозных, а также изменяться в широких пределах в течение года.

На практике большинство электроприводных газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА) функционируют в условиях, при которых момент нагрузки, скорость и основные технологические параметры не остаются постоянными, как принимается упрощенно в простейших локальных приводах, а значительно изменяются во времени. Это обусловлено факторами не только технологического характера, но и внешнего воздействия, которые носят случайный характер.

Для наиболее энергоэффективного и надежного управления работой ЭГПА предлагается использовать преобразователи частоты в совокупности с комбинированными системами автоматического регулирования (САР) скорости вращения. На первом этапе система задает первоначальное значение скорости вращения электродвигателя ГПА и далее, используя обратную связь от датчика выходного давления, корректирует скорость до оптимального значения.

Первоначальное значение скорости вычисляется из регрессионных уравнений, составленных на основе статистической информации о режимах работы ЭГПА и изменении всех действующих внешних и внутренних факторов.

Конечное значение скорости вращения ЭГПА определяется САР по выходным технологическим параметрам с использованием алгоритма, рассчитывающего оптимальное распределение загрузки каждого агрегата при работе нескольких ЭГПА на один газопровод.

## Системы и установки конденсации газа

*Ю.И. Гришин (ООО «ИНТРА ПРОЕКТ»)*

Подготовка попутного нефтяного (ПНГ) и природного газа (ПГ) к транспортировке по магистральным трубопроводам и его использованию в качестве топлива для энергетических установок выполняется, как правило, непосредственно на месторождениях. Подготовка включает в себя разделение ПНГ и ПГ на фракции. Наиболее эффективным методом в настоящее время является использование низкотемпературной конденсации газа с применением холодильных систем и последующей низкотемпературной сепарацией конденсата.

В докладе освещаются следующие вопросы:

- основные методы утилизации газа;
- технологии утилизации газа;
- технология выделения СУГ из магистрального трубопровода;
- снабжение газовым топливом отдельных регионов;
- сравнительный анализ себестоимости проекта утилизации газа;
- анализ упущенной выгоды от сжигания газа.

## **Применение программно-технических средств отечественного производства в современных системах автоматического управления**

*Д.В. Мосолов (ООО «Вега-ГАЗ»)*

1. Современные автоматизированные технологические комплексы для газовой отрасли выпускаемые ООО «Вега-ГАЗ».
2. Сравнительный анализ комплектующих, применяемых в составе изготавливаемого оборудования.
3. Технические характеристики контроллерного оборудования российского производства, применяемые в составе систем автоматики.
4. Технические решения систем автоматизации САУ ГПА, САУ КЦ, АСУ Э, АСПС КЗ и ПТ.
5. Опыт реализации.

## **Технические требования к смазочным маслам для газоперекачивающих агрегатов**

*С.Ю. Поляков, А.А. Мухин, А.Е. Скрябина  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Требования к качеству смазочных материалов определяются в равной мере как конструкцией агрегатов, так и условиями их эксплуатации и обеспечивают надежную, экономичную и экологически безопасную работу техники.

Разнообразие используемых в ПАО «Газпром» газотурбинных приводов обуславливает широкий ассортимент применяемых смазочных масел. Имеется тенденция к расширению ассортимента смазочных материалов, выпускаемых по стандартам организаций под собственными торговыми марками.

ООО «Газпром ВНИИГАЗ» разработало единые технические требования к смазочным маслам для газоперекачивающих агрегатов (ГПА), используемых в ПАО «Газпром».

Разработанные технические требования к смазочным маслам для ГПА используются в виде СТО Газпром «Масло турбинное для теплонапряженных газоперекачивающих агрегатов». Данный стандарт является одним из ключевых элементов в системе контроля качества масел, смазок и специальных жидкостей, используемых в ПАО «Газпром», и взаимодействует с другими уже разработанными или планируемыми к разработке нормативными документами в этой области.

Технические требования используются:

- при формировании технических заданий промышленности на разработку новых марок смазочных масел для ГПА;
- экспертизе и согласовании нормативной документации на смазочные масла для ГПА, разработанные в инициативном порядке;
- проведении квалификационных испытаний опытно-промышленных партий смазочных масел по программам квалификационных и периодических испытаний товарных партий масел в случае возникшей необходимости;
- согласовании с разработчиками ГПА эксплуатационной документации в части, касающейся применения смазочных масел.

Введение разработанных единых технических требований к смазочным маслам для ГПА повысит надежность эксплуатации газоперекачивающего оборудования за счет улучшения качества применяемых смазочных материалов.

## **Инновационные решения в области защиты от перенапряжений для объектов газотранспортной системы**

*А.И. Фёдоров (ООО «ДЕН РУС»)*

Объекты газотранспортной системы относятся к зоне особой ответственности, в связи с чем к их надежности и безопасности предъявляются максимальные требования. С учетом повсеместного использования чувствительного оборудования на микропроцессорной базе важную роль при этом играет построение надежной внутренней системы молниезащиты, основной частью которой являются устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП). Однако не все из известных в настоящее время вариантов и конструкций УЗИП удовлетворяют повышенным требованиям к защите современного чувствительного оборудования.

В докладе описывается инновационная концепция комбинированных УЗИП на основе управляемых искровых разрядников, которые в комплексе решают все вопросы внутренней молниезащиты для систем электроснабжения промышленных предприятий с максимальными требованиями к надежности, в частности обеспечивают защиту от максимальных импульсных токов, предписываемых стандартами в области молниезащиты, ограничивают перенапряжения на самом низком уровне и при срабатывании не вызывают перерывов в электроснабжении защищаемых установок за счет инновационной технологии автоматического гашения дуги сопровождающих токов.

В качестве подтверждения эффективности приводятся результаты лабораторных испытаний, которые показали наивысший защитный эффект таких устройств даже для самого чувствительного электронного оборудования, например, контроллеров в системах автоматизации промышленных предприятий. Применение комбинированных УЗИП на основе искровых разрядников удовлетворяет требованиям действующих российских нормативов в области молниезащиты и позволяет создавать эффективные схемы защиты от импульсных перенапряжений для объектов газотранспортной системы в соответствии с «Положением по обеспечению электромагнитной совместимости производственных объектов ОАО «Газпром» (СТО Газпром 2-1.11-290-2009).

**СЕКЦИЯ «С»**

**УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ  
И ЦЕЛОСТНОСТЬЮ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

28–29 октября 2015 г.

## **Концепция управления техническим состоянием и целостностью площадных объектов ПАО «Газпром»**

*С.В. Алимов, О.Н. Мелёхин (ПАО «Газпром»),  
В.Н. Воронин, С.В. Нефёдов,  
В.А. Щуровский (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

ПАО «Газпром» с 2009 г. разрабатывает и внедряет современную Систему управления техническим состоянием и целостностью объектов ГТС (СУТСЦ). С 2013 г. реализуется в промышленном масштабе применение СУТСЦ для линейной части магистральных газопроводов, методологическую основу которой составляют математические модели расчетного прогнозирования показателей технического состояния, надежности и техногенного риска, а долгосрочное планирование мероприятий диагностирования и ремонта газопроводов оптимизируется по приоритетности в условиях финансовых и ресурсных ограничений.

В настоящее время в ПАО «Газпром» разрабатывается СУТСЦ площадных объектов ГТС (СУТСЦ ПО), охватывающая компрессорные и газораспределительные станции, подземные хранилища газа, системные объекты энергетики и противокоррозионной защиты. Основным документом, в рамках которого реализуется поставленная задача управления работоспособностью, надежностью и безопасностью трубопроводов, оборудования и подсистем ПО на принципах обслуживания по «техническому состоянию» и «назначению» с учетом техногенного и технологического рисков, служит утвержденная в 2015 г. «Концепция УТСЦ ПО ПАО «Газпром».

В докладе освещены основные положения и принципы Концепции, особенности СУТСЦ для стационарных технологических трубопроводов и оборудования, описание структуры процесса, показателей целостности и критериев принятия решений, а также текущие направления разработки методико-регламентной документации.

## **Жизненный цикл долгосрочных программ управления техническим состоянием и целостностью объектов ЛЧ МГ ГТС**

*Г.А. Милько-Бутовский, С.В. Нефёдов, В.П. Столов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
О.Н. Мелёхин, А.Н. Пасечников (ПАО «Газпром»),  
М.Б. Басин (ООО «Газтранзит»)*

В 2014 г. в ПАО «Газпром» началось внедрение методологии управления техническим состоянием и целостностью линейной части магистральных газопроводов газотранспортной системы (УТСЦ ЛЧ МГ ГТС) в газотранспортных дочерних обществах, и на текущий момент на ее основе сформирована и утверждена Программа комплексного капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов ПАО «Газпром» на 2016–2020 годы.

Полученный опыт этих работ показал необходимость внесения изменений в разработанные в 2012 г. Рекомендации ПАО «Газпром» «Регламент формирования программ технического диагностирования, технического обслуживания и ремонта объектов линейной части магистральных газопроводов ЕСГ ОАО «Газпром» для обеспечения соответствия изменившейся с 2012 г. нормативной документации смежного для УТСЦ процесса технического обслуживания и ремонта.

В докладе дано актуальное представление всех процессов жизненного цикла (планирование, мониторинг выполнения, корректировка, анализ эффективности) долгосрочных программ УТСЦ ЛЧ МГ ГТС, включая информационные потоки, состав участников, сроки выполнения работ, взаимодействие процесса УТСЦ со смежными процессами. Учтена необходимость использования единых подходов для объектов ЛЧ МГ и площадных объектов ГТС, методико-регламентная документация, для которых в текущий момент разрабатывается в рамках проекта развития Информационно-управляющей системы «Транспортировка газа» (ИУС Т, Этап 2). Более подробно рассмотрено моделирование сценариев достижения целевых значений показателей технического состояния и целостности при формировании программ диагностирования и ремонта объектов ЛЧ МГ ГТС.

## **Формирование базы данных пространственной информации описаний магистральных газопроводов и объектов окружения для расчетного комплекса Системы управления техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы**

*А.С. Вахтанов, В.А. Лазутин, Н.Н. Севастьянов, Д.С. Сергеев  
(ОАО «Газпром космические системы»)*

Одним из источников объективной информации о состоянии линейной части магистральных газопроводов (ЛЧ МГ) являются аэрокосмические методы мониторинга, которые используются для получения информации о взаимодействии МГ с окружающей средой, текущем состоянии ЛЧ МГ, данных об окружающем ландшафте и его влиянии на состояние МГ.

На основе аэрокосмической информации формируются геопространственные данные для базы данных пространственной информации объектов ЛЧ МГ с целью проведения аналитических расчетов значений показателей технического состояния и целостности ЛЧ МГ при формировании проекта Программы комплексного капитального ремонта ЛЧ МГ на 2016–2020 гг.

В докладе представлены результаты практических работ по формированию базы данных пространственной информации для расчетного комплекса, особенности работы с разнообразными источниками пространственных данных, программно-техническая основа, используемая в работах.

## **Особенности внедрения системы управления техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы в ООО «Газпром трансгаз Краснодар»**

*В.В. Ким (ООО «Газпром трансгаз Краснодар» – филиал Инженерно-технический центр)*

В соответствии с поручением Правления ПАО «Газпром» Департамент по транспортировке, подземному хранению и использованию газа совместно с ООО «Газпром ВНИИГАЗ» проводит работу по внедрению в ПАО «Газпром» Системы управления техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы (СУТСЦ ГТС). ООО «Газпром трансгаз Краснодар» эксплуатирует свыше 8000 км газопроводов. Для анализа технического состояния и техногенных рисков газотранспортным обществом формируется массив исходной информации – паспортной, технической и пространственной. На основе полученных данных ООО «Газпром ВНИИГАЗ» проводит расчет показателей технического состояния участков газотранспортной системы и разрабатывает долгосрочные производственные программы. Для обеспечения достаточности данных необходимо проводить дополнительные обследования газопроводов и описание объектов вокруг них в радиусе пятисот метров. В докладе речь пойдет об особенностях и проблемах, с которыми сталкиваются специалисты ООО «Газпром трансгаз Краснодар» в ходе выполнения этой работы.

## **Основные этапы и особенности процедуры анализа риска аварий на площадочных объектах в рамках Системы управления техническим состоянием и целостностью объектов ГТС**

*С.В. Овчаров, Ю.В. Гамера, Ю.Ю. Петрова  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Анализ риска аварий на площадочных объектах (ПО) ГТС ПАО «Газпром» является одним из базовых процессов системы управления техническим состоянием и целостностью (СУТСЦ) объектов ГТС, разрабатываемой в рамках проекта Информационно-управляющей системы транспортировкой газа и газового конденсата ПАО «Газпром». Показатели техногенного риска совместно с показателями технического состояния и целостности будут использоваться для ранжирования ПО ГТС с целью обоснования очередности проведения и выбора методов диагностических и ремонтных работ на этих объектах.

Доклад посвящен особенностям процедуры анализа риска аварий ПО, примененной в СУТСЦ объектов ГТС и построенной на базе нормативного подхода, изложенного в СТО Газпром 2-2.3-351-2009. Основными этапами анализа являются: сбор и обработка исходных данных по ПО и их окружению; идентификация опасностей ПО (в том числе декомпозиция ПО, выделение опасных составляющих ПО); расчет показателей техногенного риска ПО; выполнение ранжирования ПО по выбранным показателям техногенного риска. Новой особенностью указанного алгоритма является применение методов логико-вероятностного моделирования непосредственно к поражающим факторам (ПФ) в отличие от традиционного подхода с конечным ограниченным количеством расчетных сценариев аварий. Это позволяет, с одной стороны, учитывать непрерывный полный спектр расчетных сценариев развития аварии, а с другой – дает возможность избежать необходимости предварительного ранжирования ПФ в рамках каждого аварийного сценария. Основной структурной ячейкой для оценки риска аварии ПО (КС МГ, КС ПХГ) является компрессорный цех (КЦ). В качестве основного показателя техногенного риска аварии определен ожидаемый прямой годовой ущерб от аварии (совокупный техногенный риск) КЦ. Предложена процедура многоуровневого ранжирования объектов на основе разработанной матрицы риска.

## **Базовые подходы по реализации в ГИС МТ Системы управления техническим состоянием и целостностью площадных объектов в ООО «Газпром трансгаз Сургут»**

*М.Ю. Карнаухов, В.Е. Курилов, С.А. Редикульцев,  
А.М. Руденко, И.В. Ковальчук, О.С. Пшенцов  
(ООО «Газпром трансгаз Сургут»),  
М.Б. Басин, И.А. Верременко,  
А.Г. Михайленко (ООО «Газтранзит»)*

ПАО «Газпром» успешно использует Систему управления техническим состоянием и целостностью (СУТСЦ) линейной части, основанную на оценке техногенного риска и расчете ущербов. Однако данная методика не учитывает специфику площадных объектов, техническая разнородность оборудования которых, возможность резервирования и высокая скорость развития аварийных процессов приводят к необходимости переосмысления подходов на линейной части и разработке новой методологии.

В настоящее время ООО «Газтранзит» завершает работы по созданию прототипа СУТСЦ площадных объектов совместно со специалистами ООО «Газпром трансгаз Сургут» на базе геоинформационной системы магистральных трубопроводов (ГИС МТ) газотранспортного общества. Базовые подходы, уточненные специалистами предприятия, позволяют решать управленческие задачи планирования на различных уровнях. На уровне газотранспортных обществ оценивается ряд показателей, характеризующих техническое состояние и различного вида риски каждой единицы оборудования. Объекты ранжируются на основании рассчитанных показателей и формируют план проведения мероприятий по диагностике и ремонту объектов. На уровне администрации рассчитываются показатели технического состояния компрессорного цеха как единой системы последовательно или параллельно соединенных элементов и агрегирующего показателя по компрессорной станции для последующего сравнения по данным показателям как отдельных цехов в составе КС, так и различных КС.

Верификация методических решений производится на прототипе системы, охватывающем первый этап реализации – составление пообъектного плана капитального ремонта на данных пилотной компрессорной станции. Прототип позволяет наглядно продемонстрировать работу алгоритма на реальных данных, выявить узкие места и внести предложения по усовершенствованию и развитию методологической базы оценки площадных объектов при тиражировании решения на все компрессорные станции Общества.

## **Обоснование длительной работоспособности труб с дефектами коррозионного растрескивания под напряжением (проблемные вопросы и опыт эксплуатации магистральных газопроводов)**

*О.Н. Мелёхин, А.Б. Арабей, О.В. Бурутин (ПАО «Газпром»),  
И.В. Ряховских (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

На фоне продолжающегося старения газотранспортной системы ПАО «Газпром» (к настоящему времени свыше 80 % магистральных газопроводов (МГ) эксплуатируются более 20 лет) все большую значимость приобретают вопросы планирования и рационального распределения финансовых средств на проведение ремонта газопроводов. Требования к ремонту труб с трещинами, вызванных коррозионным растрескиванием под напряжением (КРН), должны быть дифференцированы в соответствии с их реальной опасностью.

Экспериментально установлено, что основным условием для сохранения эксплуатационной надежности трубопроводов со стресс-коррозионными дефектами является предотвращение доступа коррозионной среды к поверхности дефектных труб. Показана принципиальная возможность эксплуатации переизолированных участков газопроводов с микродефектами КРН глубиной до 10 % толщины стенки труб.

Предложена методика классификации дефектов КРН по степени опасности по результатам оценки прочности труб. Выполнена статистическая оценка максимальных скоростей развития стресс-коррозионных трещин в металле труб длительно эксплуатируемых МГ.

Обозначены приоритетные направления дальнейших исследований ПАО «Газпром», ориентированные на обеспечение надежности МГ, подверженных КРН, в условиях условий длительной эксплуатации:

- реализация комплекса широкомасштабных опытно-промышленных исследований, проведение сериальных натуральных гидравлических испытаний труб и лабораторных испытаний образцов с дефектами КРН;
- развитие технологий удаленного мониторинга участков МГ с оставленными дефектами КРН;
- развитие инновационных технологий внутритрубной дефектоскопии МГ, а также измерительных методов автоматизированного неразрушающего контроля стресс-коррозионных дефектов труб.

## **Проблемы диагностирования трещин коррозионного растрескивания под напряжением на ранней стадии их развития на трубах подземных газопроводов**

*И.В. Максютин (ООО «Газпром трансгаз Ухта»)*

Опыт эксплуатации магистральных газопроводов (МГ) показывает, что одним из самых опасных дефектов является коррозионное растрескивание под напряжением (КРН). Выявлению данных дефектов на ранней стадии мешает низкая чувствительность диагностического оборудования, используемого при проведении внутритрубной диагностики (ВТД). Так, заявленный минимальный порог выявления дефектов КРН для внутритрубных снарядов НПО «Спецнефтегаз» и ОАО «Оргэнергогаз» (испытательный полигон «Саратовдиагностика») при раскрытии берегов трещин более 0,05 мм составляет соответственно: по глубине – 15 и 10 % толщины стенки трубы; по длине – шесть толщин стенки трубы и 80 мм. Наружные сканер-дефектоскопы (например, А 2075 «SoNet»), используемые при обследовании труб в ходе капитального ремонта участков МГ, уверенно обнаруживают трещины глубиной более 2 мм, а часть трещин с меньшей глубиной пропускают. К тому же следует отметить, что на данный момент времени остается открытым вопрос о методе неразрушающего контроля (НК), который бы позволял определять глубину трещин КРН с необходимой точностью для оценки степени их опасности.

В представленной работе рассмотрены возможности различных методов НК по выявлению дефектов КРН и определению их параметров. Приведены результаты ВТД и наружных обследований методами НК в ходе капитального ремонта нескольких межкрановых участков МГ. Выполнен сравнительный анализ геометрических размеров дефектов КРН, полученных с помощью контролируемой шлифовки и приборами, работающими на основе магнито-вихретокового метода. Дополнительно представлены результаты расширенных лабораторных обследований и испытаний темплетов с дефектами КРН, включающие определение фактических характеристик механических свойств металла и исследование микроструктуры металла в дефектных и бездефектных зонах, а также экспериментальное исследование поведения трещин КРН при различных нагрузках. Проведенная работа позволила наметить организационно-технические мероприятия для обеспечения требуемой надежности и более достоверного прогноза остаточного ресурса труб с дефектами КРН.

## **Опыт и перспективы НИОКР на стендах и полигонах ПАО «Газпром»**

*В.В. Вавилов (ПАО «Газпром»),*

*В.В. Харионовский*

*(ЗАО «Аэрокосмический мониторинг и технологии»)*

Обращение к теме развития системы испытаний для постановки и совершенствования НИОКР определяется как необходимостью отраслевого подхода к решению задач обеспечения надежности объектов ПАО «Газпром», так и потребностью в технологическом развитии и создании нового оборудования и технологий, направленных на импортозамещение. В международной практике испытания являются обязательным элементом системы поддержания требуемого технического уровня производства, поэтому всесторонние испытания служат основой развития техники и технологий. В дочерних обществах ПАО «Газпром» функционирует сеть испытательных стендов и полигонов, выполняющих текущие производственные и экспериментальные работы, которые, как правило, направлены на решение отдельных технологических задач.

Основной целью доклада является разработка концепции эффективной системы испытательных центров. Предлагается 3-уровневая система выполнения работ на основе централизованного управления (уровень I) с опорой на базовые центры (уровень II) и функционирования укрупненных центров и полигонов в дочерних обществах (уровень III) исходя из технологий в подотраслях (добыча, транспорт, переработка). Представлен анализ деятельности действующих стендов и полигонов, особое внимание уделено северным, морским и зарубежным полигонам. Также представлена информация о стендах и полигонах в дочерних обществах и дано распределение их по направлениям: в добыче, переработке и транспорте газа. Анализ предложений дочерних обществ показывает, что необходимо аналитическое рассмотрение их деятельности, совершенствование использования для технологического развития направлений ПАО «Газпром», исключение дублирования, испытаний новой техники и технологий. Исходя из этого сформирована организационная схема выполнения работ на стендах и полигонах ПАО «Газпром». В целом в отрасли требуется реализовать новый подход к процессу проведения испытаний технологий, оборудования и материалов.

## **Современное состояние и перспективы развития средств внутритрубной диагностики газопроводов ПАО «Газпром»**

*О.Н. Мелёхин, А.В. Молоканов (ПАО «Газпром»),  
И.Л. Вялых, В.Л. Лазарев, Д.А. Зотов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
В.В. Лопатин (ЗАО «НПО «Спецнефтегаз»)*

В настоящее время базовым элементом системы диагностического обслуживания линейной части магистральных газопроводов (ЛЧ МГ) в процессе их эксплуатации является внутритрубная диагностика (ВТД).

Результаты ВТД ЛЧ МГ используются для решения следующих задач диагностического обслуживания:

- ранжирования участков ЛЧ МГ по техническому состоянию;
- планирования видов и объемов ремонтных работ на ЛЧ МГ;
- обоснования решения о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации ЛЧ МГ, допустимых режимах работы, сроках проведения технического диагностирования;
- прогнозирования технического состояния ЛЧ МГ.

Используемые для обследования ЛЧ МГ внутритрубные инспекционные приборы, реализованные на основе магнитного вида неразрушающего контроля, обладают рядом ограничений. Вместе с тем современное состояние и основные направления развития газотранспортной системы ПАО «Газпром», помимо традиционной задачи повышения качества результатов внутритрубного диагностирования, диктует ряд новых требований к средствам ВТД.

Перспективы развития средств ВТД основаны на реализации новых конструктивных решений, совершенствовании базы диагностических признаков, совершенствовании и оптимизации алгоритмов обработки результатов ВТД.

В настоящем докладе приведены:

- сведения о современных средствах ВТД, используемых при проведении диагностирования ЛЧ МГ ПАО «Газпром»;
- основные результаты испытаний средств ВТД, особенности ключевых проверок;
- основные направления повышения качества и информативности представляемых результатов ВТД;
- основные направления развития и модернизации средств ВТД ЛЧ МГ ПАО «Газпром».

## **Повышение качества и расширение возможностей внутритрубной диагностики. Комбинированные магнитоакустические снаряды-дефектоскопы**

*Б.В. Патраманский, В.Е. Лоскутов, В.В. Лопатин  
(ЗАО «НПО «Спецнефтегаз»)*

Одним из приоритетных направлений в развитии средств ВТД контроля технического состояния ЛЧ газотранспортной системы ПАО «Газпром» является освоение новых ЭМА диагностических методов. Они дополняют традиционные магнитные методы, расширяя возможности и существенно повышая качество диагностики.

ЗАО «НПО «Спецнефтегаз» более 10 лет занимается разработкой ЭМА методов для внутритрубного контроля. В рамках данного направления были решены задачи увеличения чувствительности, выявляемости, качества идентификации и точности определения размеров дефектов труб и сварных соединений, а также обеспечения контроля качества адгезии изоляционного покрытия.

По результатам исследований был разработан комплекс ВТД, состоящий из комбинированных магнитоакустических снарядов-дефектоскопов продольного и поперечного намагничивания.

В докладе представлены возможности и сравнительные показатели нового комбинированного магнитоакустического комплекса ВТД и традиционного магнитного.

## **Текущее состояние и перспективы развития ультразвукового вида контроля для диагностирования трубопроводов**

*А.А. Самокрутов, В.Г. Шевалдыкин  
(ООО «Акустические Контрольные Системы»),  
С.Ю. Ворончихин (ЗАО «ИнтроСкан Технолоджи»)*

В докладе рассматриваются возможности современных средств ультразвукового (УЗ) неразрушающего контроля применительно к актуальным задачам, возникающим при диагностировании трубопроводов как на линейной части, так и на компрессорных станциях. Описаны возможности томографических систем УЗ, построенных на базе антенных решеток и технологий цифровой фокусировки как для вариантов высокочастотного (более 1 МГц), так и низкочастотного волноводного (метод направленных волн) методов. Приведены результаты численного моделирования, экспериментальных исследований и практического применения аппаратуры, реализующей данные методы.

## **Технологии автоматизированного ультразвукового контроля сварных соединений и тела труб**

*В.А. Суворов (ООО «АКС-Сервис»),*

*А.А. Самокрутов (ООО «Акустические Контрольные Системы»)*

В докладе описан метод автоматизированного ультразвукового контроля сварных соединений с применением технологии высокочастотных (4 МГц) цифрофокусируемых антенных решеток, а также метод контроля основного металла тела труб при помощи сканирующих систем на базе низкочастотных антенных решеток с сухим точечным контактом.

Сформулированы задачи, стоявшие при разработке системы, описаны подходы и принципы их решения. Детально рассмотрены узлы сканера дефектоскопа: измерительный, транспортный, лазерно-оптический. Для определения эквивалентных размеров выявленных дефектов предложен метод ультразвуковой томографии металлов при помощи цифрофокусируемых антенных решеток с применением двумерных АРД диаграмм, описан принцип их построения и сущность алгоритма обработки эхо-сигналов C-SAFT. Описан алгоритм автоматического определения типа обнаруженного дефекта. Представлены результаты опытно-промышленной эксплуатации внутритрубного сканера-дефектоскопа, выявляющего дефекты в основном металле тела труб.

## **Роботизированная внутритрубная диагностика участков газопроводов, не приспособленных для внутритрубных инспекционных приборов**

*М.Н. Лысый, С.Н. Аксёнов (ООО «Газпроект-ДКР»)*

Безопасность эксплуатации газопроводов требует периодического контроля их технического состояния, традиционно осуществляемого с помощью внутритрубных инспекционных приборов – снарядов-дефектоскопов. Отдельные участки газопроводов не пригодны для использования снарядов-дефектоскопов из-за разнопроходных диаметров, наличия с отводов радиусом  $1,5D$  и т.д.

Для определения технического состояния таких участков выполняется внутритрубная диагностика с применением самоходных роботизированных комплексов. В результате диагностики выявляются коррозионные и трещиноподобные дефекты основного металла трубы, проводится измерение остаточной толщины стенки и визуально-измерительный контроль кольцевых сварных соединений.

В докладе содержатся результаты проведенной роботизированной внутритрубной диагностики:

- перехода газопровода под автодорогой Рамешки – Киверичи;
- подводного перехода газопровода под р. Гудзон (США);
- участка магистрального газопровода в г. Париже (Франция).

Всего с помощью самоходных роботизированных комплексов ООО «Газпроект-ДКР» выполнена внутритрубная диагностика на более чем 370 объектах в РФ и за рубежом.

## **Обоснование требований к системам мониторинга геотехнического состояния магистральных газопроводов на базе распределенных волоконно-оптических сенсоров**

*И.Ю. Морин, В.М. Силкин, М.Ю. Панов, В.П. Столов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В настоящее время в мировой практике для мониторинга деформированного состояния критических объектов значительной протяженности, таких как мосты, дамбы, плотины, а также отдельных элементов летательных аппаратов и энергетических установок, получили распространение системы контроля, построенные с применением волоконно-оптических сенсоров. Как правило, системы такого рода применяются для контроля деформированного состояния объекта, температуры и вибрационной активности.

Для оценки возможности и целесообразности применения подобных систем на объектах ПАО «Газпром» при соблюдении Единой технической политики в области их применения разработаны «Временные технические требования к элементам систем мониторинга геотехнического состояния магистральных трубопроводов на базе волоконно-оптических сенсоров».

При разработке технических требований определены и обоснованы целевые эксплуатационные показатели мониторинговых систем, определяющие возможность их применения на объектах транспорта газа.

При определении области применения мониторинговых систем на базе волоконно-оптических сенсоров приняты во внимание характерные особенности и параметры существующих систем, такие как точность и диапазоны измерений, возможности систем по локализации событий и технические характеристики производимых оптико-волоконных сенсоров, а также определены целевые направления развития систем.

Представлены обобщенные результаты аттестации волоконно-оптических систем на соответствие положениям «Временных технических требований ПАО «Газпром» к элементам систем мониторинга геотехнического состояния магистральных трубопроводов на базе волоконно-оптических сенсоров». Процедура аттестации выполнена в соответствии с СТО Газпром 2-3.5-046-2006 «Порядок экспертизы технических условий на оборудование и материалы, аттестации технологий и оценки готовности организаций к выполнению работ по диагностике и ремонту объектов транспорта газа ПАО «Газпром».

## **Опыт применения бесконтактной магнитометрической диагностики трубопроводов и перспективы ее развития**

*А.А. Дубов, Ал.А. Дубов (ООО «Энергодиагностика»)*

В настоящее время при оценке состояния трубопроводов, расположенных под слоем грунта или под водой, все большее применение на практике получает бесконтактная магнито-метрическая диагностика (БМД).

БМД основана на измерении искажений магнитного поля Земли ( $H_3$ ), обусловленных изменением намагниченности металла трубы в зонах концентрации напряжений (ЗКН) и в зонах развивающихся коррозионно-усталостных повреждений. При этом характер изменений поля  $H_3$  (частота, амплитуда) обусловлен деформацией трубопровода, возникающей в нем вследствие воздействия ряда факторов: остаточных технологических и монтажных напряжений, рабочей нагрузки и напряжений самокомпенсации при колебаниях температуры наружного воздуха и среды (грунта, воды и т.д.).

При расшифровке информации о состоянии трубопроводов по изменениям магнитного поля, фиксируемых на расстоянии 200–300 мм от поверхности земли, используются критерии и программный продукт, разработанные в ООО «Энергодиагностика» на основе метода магнитной памяти металла.

В НОАП «Энергодиагностика» (г. Реутов Московской обл.) действует центр подготовки специалистов по БМД.

При обучении специалистов по БМД в НОАП «Энергодиагностика» даются рекомендации по отличительным признакам магнитных аномалий и диагностическим параметрам, позволяющим отличать зоны максимальной концентрации напряжений (до начала развития повреждения) от зоны развивающегося коррозионного повреждения. Имеющиеся критерии позволяют выявлять дефектные сварные стыки и отличать их от стыков, находящихся в удовлетворительном состоянии.

В докладе рассматриваются основные проблемы, выявленные в результате длительного применения БМД на практике, вопросы подготовки специалистов в НОАП «Энергодиагностика» и перспективы развития технологии БМД.

## **Результаты натурных испытаний средств магнитометрии для бесконтактного наземного обследования магистральных газопроводов**

*А.В. Молоканов (ПАО «Газпром»),  
И.Л. Вялых, В.Л. Лазарев, Д.А. Зотов, А.В. Липовик,  
А.Е. Ремизов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В соответствии с требованиями ПАО «Газпром» бесконтактное магнитометрическое диагностирование может применяться с целью выявления наиболее напряженных и предрасположенных к повреждениям зон линейной части магистральных газопроводов (ЛЧ МГ). При этом основными задачами бесконтактного магнитометрического диагностирования является обнаружение, определение координат и слежение (мониторинг) за аномалиями магнитного поля, связанными с дефектами основного металла, металла сварных соединений, а также общего напряженного состояния трубопровода. Применение магнитометрических комплексов наиболее целесообразно на участках ЛЧ МГ, не приспособленных для проведения внутритрубного диагностирования. Основным условием применения средств магнитометрии при диагностировании газопроводов является соответствие их технических характеристик как в части организации технологии диагностирования, так и идентификации и оценки дефектов требованиям ПАО «Газпром». Соответствие технических характеристик оборудования установленным требованиям определяются путем проведения испытаний.

В докладе рассмотрены этапы проведенных испытаний средств бесконтактного магнитометрического диагностирования, выполненных на участке линейной части действующего магистрального газопровода, определены их дефектоскопические возможности, а также особенности каждого диагностического комплекса, участвовавшего в испытаниях. Представлены основные технические характеристики средств бесконтактной магнитометрии, предварительные результаты натурных испытаний, основные направления развития и модернизации магнитометрических комплексов.

## **Прогноз теплового воздействия газотранспортных систем на многолетнемерзлые грунты**

*В.В. Гордийчук (ООО «Симмэйкерс»)*

В докладе рассматриваются методы и средства прогнозирования оттаивания многолетнемерзлых грунтов в результате теплового воздействия газотранспортных систем, в том числе различных участков подземного трубопровода. Предлагаемый метод прогнозирования базируется на численном решении уравнения теплопроводности в трехмерной постановке с учетом фазовых превращений и конвективного переноса тепла.

Предложенную методику можно применять при проектировании и геотехническом мониторинге трубопроводов и других объектов газотранспортных систем в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов. Результаты прогноза необходимы для оценки надежности газотранспортных систем.

## **Коррозионный контроль при прогнозировании технического состояния магистральных газопроводов**

*Д.Н. Запевалов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Развитие коррозионных процессов подземных магистральных газопроводов определяется условиями их взаимодействия с внешней средой и существенно зависит от характера повреждений защитного покрытия, преимущественного типа коррозионного процесса и возможностей систем противокоррозионной защиты по ограничению коррозионных воздействий.

Основой прогноза развития коррозионных процессов являются результаты коррозионных обследований, направленные на локализацию и определение характера коррозионных дефектов, определение геометрических параметров сквозных повреждений покрытия, оценку влияния природных условий и внешних электромагнитных воздействий.

Контроль фактических коррозионных воздействий с применением средств коррозионного мониторинга позволяет существенно повысить достоверность оценки скорости развития коррозионных процессов и эффективности защитных корректирующих мероприятий.

Рассмотрены возможности формирования и применения моделей развития коррозионных дефектов для прогноза скорости коррозии и оценки геометрических параметров дефектов на основе комплекса лабораторных и трассовых исследований. Обоснована целесообразность последующей интеграции результатов расчета в состав систем оценки технического состояния газопроводов для повышения точности последующих расчетов по моделям прочности, усталостной долговечности и механики разрушения.

## **Опыт эксплуатации ПК «Статус ГТЮ» и перспектива его использования в рамках СУТСиЦ**

*И.С. Петухов (ООО «Городской центр экспертиз»),  
Д.В. Косачев (ООО «Газпром трансгаз Югорск»)*

Разрабатываемый ООО «ГЦЭ» программный комплекс «Статус ГТЮ» предназначен для решения производственных задач ООО «Газпром трансгаз Югорск» в части обеспечения надежности эксплуатации ЛЧ МГ. В докладе рассматривается опыт эксплуатации программного комплекса «Статус ГТЮ» в части:

- формирования непротиворечивого массива исходных данных;
- сопоставления последовательных ВТД, в т.ч. от разных подрядных организаций и с учетом проведенных ремонтов;
- расчета скорости роста коррозионных и стресс-коррозионных дефектов;
- формирования прогнозных оценок технического состояния;
- использования спутниковых снимков и снимков с БПЛА для определения пространственного положения дефектных участков и объектов их окружения.

Программный комплекс «Статус ГТЮ» дает возможность подготовить исходные данные для формирования программы диагностирования и ремонта ЛЧ МГ в рамках СУТСиЦ ЛЧ МГ, разработанной ООО «Газпром ВНИИГАЗ» по заданию ДТПХИГ.

Применение программного комплекса «Статус ГТЮ» позволяет ускорить внедрение СУТСиЦ ЛЧ МГ в газотранспортных обществах ПАО «Газпром».

## **О возможности расчета назначенного срока эксплуатации магистральных газопроводов на стадии проектирования**

*О.В. Лимарь (ООО «ТюменНИИгипрогаз»)*

Согласно «Правилам безопасности для опасных производственных объектов магистральных трубопроводов» (утв. приказом Ростехнадзора от 06.11.2013 г. № 520) срок эксплуатации линейной части магистральных трубопроводов (ЛЧ МГ) устанавливается в проектной документации. Обычно этот срок переносится в проект из задания на проектирование, где он, как правило, прописан. В настоящее время ведется разработка ГОСТа «Назначение срока безопасной эксплуатации линейной части магистрального газопровода», который должен это научно обосновать.

Предполагается, что срок службы МГ должен рассчитываться проектной организацией при проектировании объекта. Однако в силу ряда причин, заключающихся в несовершенстве нормативной базы, сжатых сроках проектирования, отсутствии необходимых расчетных методик и программ, недостоверности исходных данных, определение расчетным путем срока службы линейной части МГ на стадии проектирования принципиально невозможно. Кроме того, на стадии разработки проектной документации расчет срока службы МГ попросту не актуален, поскольку все принимаемые при его проектировании технические решения направлены на обеспечение безопасной работы в течение назначенного срока эксплуатации.

Назначенный срок службы объекта должен устанавливаться директивно в задании на проектирование исходя из каких-то общих соображений, в число которых должны входить опыт эксплуатации аналогичных объектов в конкретных условиях, экономическая целесообразность увеличения срока эксплуатации по сравнению с другими подобными объектами и т.д. Все это должно прорабатываться на предпроектном этапе силами заказчика или уполномоченной организацией, владеющей информацией. Проектные организации не располагают необходимыми данными по аварийности на ЛЧ МГ и их причинам в виду их закрытости. Однако в процессе эксплуатации необходимость в определении остаточного ресурса трубопровода возникает, поэтому необходимо изменить область применения ГОСТа «Назначение срока безопасной эксплуатации линейной части магистрального газопровода».

## Управление надежностью в процессе проектирования технологических объектов подготовки и транспорта газа

*Е.А. Вознюк (АО «Гипроспецгаз»)*

Основное назначение анализа надежности при проектировании магистральных газопроводов состоит в обосновании мероприятий, позволяющих увеличить надежность поставок газа потребителям.

В докладе представлен опыт выполнения работ по оценке системной надежности при проектировании технологических объектов подготовки и транспорта газа в АО «Гипроспецгаз».

Показана методика расчета системной надежности магистральных газопроводов, в частности:

- проведение анализа видов и последствий отказов элементов технологической системы;
- подготовка исходных данных и построение математических моделей функционирования технологической системы;
- расчет показателей системной надежности, оценка чувствительности и неопределенности полученных результатов.

Проанализированы проблемные вопросы, связанные с использованием результатов расчета системной надежности магистральных газопроводов.

Рассмотрены практические задачи расчета системной надежности.

Использование методологии управления системной надежностью позволяет существенно повысить качество разработки проектной документации и обосновать мероприятия, направленные на повышение надежности поставок газа потребителям.

## **Проблема обеспечения безопасности при организации сброса газа в атмосферу на объектах транспортировки природного газа**

*В.С. Сафонов, А.З. Шайхутдинов,  
С.В. Ганага (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
А.В. Мельников (ООО «НИИТНН»)*

На линейных и площадочных объектах ПАО «Газпром» ежегодно осуществляются многие сотни сбросов природного газа в атмосферу через специальные устройства, рассчитанные и обеспечивающие в подавляющем большинстве случаев требования промышленной безопасности.

Как показывает практика, при имевших место отдельных нарушениях регламентных процедур и несоответствиях технико-технологических параметров оборудования паспортным данным, а также при неблагоприятных метеорологических данных при сбросах газа возникали нештатные (предаварийные) и аварийные ситуации с выраженными негативными последствиями.

Исследования влияния режимных параметров и конструктивных особенностей системы газосброса, топологических особенностей промплощадки и метеорологических характеристик атмосферы на возможность возникновения газовой опасности проведены с применением современных программных продуктов для газодинамического моделирования. Моделирование с использованием трехмерных газодинамических моделей показало значительное влияние близрасположенных зданий и сооружений на формирование локальных турбулентных зон и траекторию движения газового шлейфа, в том числе возможность его «прижатия» к земной поверхности.

Согласно расчетам при сочетании ряда факторов указанные обстоятельства могут приводить к срабатыванию пожарной автоматики, которая настроена на величину 0,2–0,5 от нижнего концентрационного предела воспламенения на уровне поверхности земли.

Исходя из требований безопасности поставлен вопрос о целесообразности определенных конструктивно-технологических доработок, применяемых систем шумоподавления и «концевых устройств», а также оптимизации режимов газосброса.

В заключение приведены результаты ретроспективного моделирования причин возникновения ряда аварийных ситуаций на объектах транспорта газа, которые были связаны как с нарушениями регламентных процедур, так и с определенным недопониманием физической сущности процессов газосброса.

## **Автоматизированная система для выявления трещин с использованием термографических испытаний**

*С. Штарман, В. Матц (STARMANS electronics s.r.o.)*

В докладе представлена разработанная в STARMANS electronics s.r.o. автоматизированная система технической диагностики труб на базе инфракрасной термографии, предназначенная для выявления трещин и дефектов на трубах с помощью импульсных токов Фуко путем нагрева исследуемых стальных компонентов.

Наличие в исследуемой трубе трещин и дефектов нарушает протекание тока, изменяя температурный профиль в соответствующей области. Подобные температурные изменения выявляются с помощью инфракрасных камер. Цилиндрическая форма труб обусловила оснащение автоматизированной системы четырьмя передвижными камерами, что позволяет достичь наибольшей эффективности с точки зрения покрытия исследуемой поверхности. Предложен также алгоритм первичной оценки полученных от камер изображений. Подробную информацию о расположении трещин и дефектов автоматизированная система направляет в базу данных для дальнейшей оценки.

Представленная система является базовым элементом линии неразрушающего контроля подповерхностных и поверхностных трещин. К преимуществам данной системы можно отнести периодичность контроля, высокую чувствительность, способность к обнаружению скрытых подповерхностных трещин и дефектов. Система полностью автоматизирована и способна проводить оценку состояния четырехметровых труб за 18 с, что предопределяет эффективность ее промышленного применения.

## **Внедрение ультразвуковой технологии фазированной решетки с использованием усовершенствованной обработки сигнала в портативных и промышленных системах**

*С. Штарман (STARMANS electronics s.r.o.)*

За последние несколько лет ультразвуковые методы неразрушающего контроля были значительно усовершенствованы в части обработки ультразвуковых сигналов и технологий конструирования изображений. Традиционно улучшение качества неразрушающего контроля и технической диагностики связывают в основном с повышением скорости и точности выявления дефектов. В целом реализованные в настоящее время инновации, повышающие эффективность обнаружения царапин и трещин, можно разбить на две основные подгруппы: 1) конструктивная модернизация ультразвуковых датчиков и систем; 2) повышение точности алгоритмов обработки сигналов в части чувствительности к шумам, возникающим во время приема ультразвукового сигнала.

Доклад представляет новую апробированную ультразвуковую передвижную систему, разработанную с применением технологии фазированных антенных решеток. Информация, полученная от передвижной системы, использовалась при конструировании промышленной системы для испытания труб. В докладе кратко описывается применение автоматизированной системы испытания труб в реальном времени.

## **Проектирование и монтаж подземных трубопроводов с применением опорных конструкций**

*А.В. Ушаков (ПАО «Газпром»),  
Ю.А. Маянц (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Обычно опоры применяются при установке надземных трубопроводов. При подземной прокладке трубопроводов считается, что несущая способность грунта достаточна для фиксации его пространственного положения. Однако грунт при изменении температурно-влажностных условий может деформироваться, что приведет к смещениям трубопровода. При этом в случаях, когда система трубопроводов имеет жестко связанные между собой подземную и надземную части, смещения подземных трубопроводов могут привести к авариям. Такие проблемы характерны для компрессорных станций, поэтому во избежание аварийных ситуаций необходимо обеспечение фиксации подземных участков трубопроводов. Однако требования к применению подземных опорных конструкций не сопровождались указаниями по методам расчетов и конструированию, что приводило к ошибкам и отсутствию оптимизации.

Проведенные исследования позволили определить нагрузки и воздействия на подземный газопровод, размещенный на опоры, в результате чего были разработаны нормативные документы: Р Газпром «Подземные опоры технологических трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры. Технические требования» и Р Газпром «Подземные опоры технологических трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры. Технологии применения».

В результате впервые в практике ПАО «Газпром»:

- выработана система технических требований к подземным опорам технологических трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры, позволяющая обеспечить применение качественной продукции при строительстве и ремонте газопроводов;
- установлены новые подходы к проектированию опор, технологии их монтажа и специальные мероприятия при строительном контроле в процессе строительства и ремонта газопроводов.

Показано, что характер и величина этих нагрузок обусловлены не только грунтовыми условиями, но также технологией и организацией строительных работ. Поэтому для обеспечения стабильного положения подземного трубопровода особое внимание должно уделяться требованиям к выполнению строительного-монтажных работ и в первую очередь в зимних условиях.

## **Исследование химического состава металла труб повторного применения**

*А.Ю. Михалёв (АО «Гипрогазцентр»)*

Использование труб повторного применения при выполнении капитального ремонта линейной части магистрального газопровода является перспективным направлением, развитие которого позволяет существенно снижать потребность в новых трубах. Для обеспечения необходимого уровня надежности в действующих нормативных документах (в частности, в «Инструкции по повторному применению труб при капитальном ремонте линейной части магистральных газопроводов») закреплены порядок освидетельствования таких труб, нормы оценки качества металла и алгоритм дифференциации труб по категориям применимости.

В соответствии с требованиями вышеупомянутого документа для оценки качества металла труб используются такие характеристики, как химический состав, механические свойства, геометрические параметры трубы и обнаруженных дефектов. Оценка химического состава регламентируется для идентификации труб и оценки качества металла труб, направляемых на ремонт.

Ранее в ходе исследования свойств труб, подверженных КРН, специалистами АО «Гипрогазцентр» было установлено, что металл очагов стресс-коррозии характеризуется неоднородностью механических свойств (в частности, дисперсией твердости с малой нагрузкой) и избыточной гетерогенностью химического состава (превышением содержания углерода и ряда легирующих элементов). Было сделано предположение о возможной связи мест возникновения локальных дефектов с неоднородностью химического состава.

С целью проверки возможности использования методов определения химического состава не только для идентификации труб повторного применения и оценки качества металла труб, отправляемых на заводы для ремонта, но и для экспресс-диагностирования при определении категории труб, были проведены экспериментальные исследования на объекте капитального ремонта магистрального газопровода. По результатам обследования 20 участков металла (дефектных и бездефектных) выявлено, что дефектные участки металла характеризуются избыточной неоднородностью химического состава, а регламентируемые Инструкцией значения содержания углерода значительно превышены.

Сделан вывод о возможности разработки методики, позволяющей использовать оценку химического состава металла на стадии определения категории пригодности труб.

## **Диагностирование состояния околотрубного пространства газопроводов в зонах природно-техногенных рисков**

*А.Н. Колотовский (ПАО «Газпром»),  
М.М. Задегилова (ООО «ГЕОТЭК»),  
А.С. Лопатин (РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина)*

Надежность функционирования газотранспортных систем (ГТС) является приоритетной задачей ПАО «Газпром», поскольку бесперебойная работа всех элементов ГТС влияет на общие экономические показатели и имидж Компании как в стране, так и за рубежом. Вместе с тем для многих ГТС сохраняются реальные причины возникновения аварийных ситуаций в зонах активизации опасных геодинамических процессов (ОГП) – разломы, оползни, карст, горные подработки и др.

Существующие модели и методики оперативного контроля ОГП в настоящее время либо безнадежно устарели (геодезические, бурение, тросово-реперные и др.), либо недостаточно развиты. Использование для оценки механического воздействия на трубу геодинамических процессов только результатов контроля ее состояния (ВТД, ИВ-2, ультразвук и пр.) является некорректным, поскольку все эти способы фиксируют уже произошедшие события (провал, срез, смещение грунта). Они физически не в состоянии его прогнозировать.

Радиоволновое диагностирование, используя электромагнитное поле Земли, позволяет контролировать начало процессов деформации грунтов в скрытой фазе их развития, локализовать места подготавливаемых нарушений сплошности грунтов и следить за их развитием, прогнозируя тем самым аварийные ситуации.

Радиоволновая технология диагностирования околотрубного пространства дает возможность оптимизировать разработку экономически целесообразных управленческих решений по предотвращению аварийных ситуаций на ГТС в зонах природно-техногенных рисков.



**СЕКЦИЯ «D»**

**ТРУБНАЯ ПРОДУКЦИЯ, СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ, ПОКРЫТИЯ ЗАВОДСКОГО НАНЕСЕНИЯ  
ДЛЯ ТРУБНОЙ ПРОДУКЦИИ**

28–29 октября 2015 г.

## Совершенствование нормативной базы по сварке и неразрушающему контролю качества сварных соединений

*Е.М. Вышемирский (ПАО «Газпром»)*

В докладе рассмотрено состояние нормативной базы по сварке и неразрушающему контролю качества сварных соединений на объектах ПАО «Газпром», отмечена необходимость ее совершенствования.

Уделено внимание организации разработки нормативных документов (НД) по сварке и неразрушающему контролю, а также реализации Концепции совершенствования нормативных документов (актуализация, сокращение количества и повышение качества НД, систематизация, т.е. ранжирование НД по уровням).

Показаны изменения технических параметров газопроводов, труб и соединительных деталей трубопроводов за последние 15 лет, что вызвало необходимость применения при строительстве магистральных газопроводов новых технологий сварки в узкую перетачиваемую разделку кромок и применения современных средств и технологий неразрушающего контроля качества сварных соединений.

Приведены изменения требований нормативных документов РФ и ПАО «Газпром», а также отмечены:

- особенности, связанные с реализацией масштабной инвестиционной программы по строительству объектов МГ, а также объективной необходимости выполнения возрастающего ежегодного объема капремонта МГ;
- важность проведения единой технической политики в области сварки и неразрушающего контроля качества сварных соединений;
- роль программ развития сварочного производства ПАО «Газпром», в том числе в организации разработки новых нормативных документов по сварочному производству.

Доведена информация и итоги результатов крупнейших квалификационных испытаний средств неразрушающего контроля качества сварных соединений, выполненных в 2014 г.

Также отмечены другие направления реализации технической политики в области сварочного производства, такие как работа, выполняемая на постоянной основе и связанная с аттестацией новых технологий (в том числе технологий НК), экспертизой ТУ основного и вспомогательного сварочного оборудования, сварочных и вспомогательных материалов техническим требованиям ПАО «Газпром» в соответствии с требованиями СТО-2-3.5-046-2006 «Порядок экспертизы ТУ...».

## **О новых тенденциях в развитии технических требований к трубной продукции для проектов магистральных газопроводов**

*Т.С. Есиев, В.О. Маханев, С.Е. Яковлев, И.С. Сивохин,  
Н.Л. Цалкаламанидзе, О.В. Александрова  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В настоящее время ПАО «Газпром» использует широкую номенклатуру труб и соединительных деталей, производимую по различным технологиям и отличающуюся по конструктивному исполнению.

За последние годы в связи с реализацией новых проектов газопроводов ПАО «Газпром», в том числе рассчитанных на давление свыше 10 МПа, были освоены новые виды трубной продукции с уникальными параметрами (по классам прочности, толщинам стенок). Осуществлена масштабная реконструкция или модернизация производственных мощностей большинства отечественных трубных заводов и заводов, изготавливающих соединительные детали. На металлургических и трубных предприятиях реализованы современные системы анализа производства и управления качеством выпускаемой продукции.

Тем не менее тенденция постоянного совершенствования требований, предъявляемых к трубам и соединительным деталям, по-прежнему является актуальной, что находит отражение в разрабатываемой нормативно-технической документации на трубную продукцию.

В связи со вступлением в силу с января 2016 г. отраслевого стандарта «Технические требования к трубам и соединительным деталям» для сооружения газопроводов будет применяться трубная продукция, изготавливаемая только по техническим условиям. Этот факт согласуется с введенной в действие (сентябрь 2015 г.) новой редакцией «Инструкции по применению труб и соединительных деталей на объектах ПАО «Газпром», в которой отсутствуют перечни трубной продукции, поставляемой по государственным стандартам. Таким образом, появляется еще один действенный барьер на пути проникновения на объекты ПАО «Газпром» некачественной и контрафактной продукции.

В докладе особое внимание уделено принципиально важным аспектам освоения производства труб с высокой деформационной способностью. Рассмотрены также некоторые проблемные вопросы, касающиеся нормирования и подтверждения качества выпускаемой трубной продукции, рассчитанной на эксплуатацию при высоком давлении.

## **Формирование норм оценки качества кольцевых сварных соединений для условий применения автоматизированного и механизированного ультразвукового контроля**

*В.М. Силкин, **В.М. Ковех**, Е.Н. Овсянников, И.Н. Курганова  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Рассмотрена методология и опыт практического применения усовершенствованного подхода к расчетно-экспериментальному обоснованию норм оценки качества кольцевых сварных соединений с учетом технических возможностей средств неразрушающего контроля.

Основной акцент сделан на разработке норм оценки качества сварных соединений для автоматизированного и механизированного ультразвукового контроля. Сформулированы адаптированные предложения по формированию норм оценки качества для условий отдельного и совместного применения радиографического и ультразвукового контроля.

Расчетное обоснование норм оценки качества сварных соединений с дефектами выполнено на основе универсальной иерархической структуры расчетных моделей и критериев. Учтена расширенная номенклатура физико-механических свойств конструкционных материалов, выполнена оценка параметров напряженно-деформированного состояния в зоне сварного соединения, рассмотрено влияние сварочных технологий на работоспособность сварных соединений.

При разработке норм оценки качества использованы результаты лабораторных, стендовых и натурных испытаний, проведенных с целью определения фактических, физико-механических свойств основного металла и сварных металлов, соответствующих различным сварочным технологиям. Практическое применение расчетных моделей и критериев нелинейной механики разрушения позволило существенно повысить достоверность оценок работоспособности сварных соединений. Ранее такой подход имел ограниченное применение – только в экспертных целях.

Рассмотрен опыт формирования норм оценки качества сварных соединений как для этапа строительства новых объектов, так и применительно к выборочному и капитальному ремонту сварных соединений, выполняемому на объектах, срок эксплуатации которых превышает 5 лет.

## **Трубы HIPER гарантированно обеспечивают целостность трубопровода и сокращают затраты на выполнение строительных работ в суровых климатических условиях**

*Н. Судзуки, Т. Аракава (JFE Steel Corporation),*

*А.Б. Арабей (ПАО «Газпром»)*

*Т.С. Есеев, В.П. Черный, О.В. Трифонов, В.О. Маханев,  
И.С. Сивохин, С.Я. Яковлев (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Трубы HIPER, разработанные компанией JFE Steel Corporation, отличаются от стандартных труб повышенной деформационной способностью. Значительное количество данных труб поставлено заказчикам по всему миру с целью обеспечения целостности трубопроводов в суровых условиях окружающей среды. Компания JFE Steel Corporation получила согласованные технические требования ТУ 1381-101-JFE-2012 в 2012 г. В дальнейшем «Рекомендации по применению труб HIPER с высокой деформационной способностью в пределах зон активных тектонических разломов, в районах повышенной сейсмической активности и вечной мерзлоты» были опубликованы в 2014 г.

Трубы HIPER сохраняют пологую кривую «давление – деформация» даже после высокотемпературного нанесения антикоррозионного покрытия при 230 °С в течение 5 мин. Деформационная способность труб при сжатии или изгибе выражается коэффициентом упрочнения  $\sigma_{2,0}/\sigma_{1,0}$ , где  $\sigma_{1,0}$  и  $\sigma_{2,0}$  – предел текучести при деформациях 1,0 и 2,0 % соответственно. Необходимая деформационная способность при сжатии или изгибе может быть получена путем контроля коэффициента упрочнения без увеличения толщины стенки труб. Стандартные трубы имеют кривую «давление–деформация» типа «плато Людерса» (площадка текучести) и обладают меньшей деформационной способностью по сравнению с трубами HIPER.

Для объяснения высоких значений деформационной способности и экономической эффективности применения труб HIPER в суровых климатических условиях было рассмотрено несколько моделей деформации грунта, а целостность газопровода рассматривалась с точки зрения метода проектирования трубопроводов с учетом возникающих напряжений и деформаций. Учитывая влияние сейсмического воздействия и увеличение температуры трубопровода, было проведено сравнение применения труб HIPER и стандартных труб на надежность и целостность трубопровода в условиях деформации грунта в зонах вечной мерзлоты, при пересечении горных районов, а также смещение грунтов при пересечении активных тектонических разломов.

## **Исследование влияния углеродного эквивалента на склонность высокопрочных сталей к образованию холодных трещин при сварке**

*Л.А. Ефименко, О.Е. Капустин  
(РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина),  
Д.Е. Вышемирский (ООО «Газпром трансгаз Москва»),  
Э.Л. Макаров, С.А. Королёв, Д.С. Розанов  
(МГТУ имени Н.Э. Баумана)*

В докладе представлены результаты экспериментальной оценки влияния химического состава высокопрочных трубных сталей на их склонность к образованию холодных трещин при сварке. В качестве критерия, способствующего формированию закалочных структур, являющихся одним из основных факторов образования холодных трещин, рассматривался углеродный эквивалент ( $C_{эк}$ ), значения которого изменялись от 0,35 до 0,54 %.

Испытания пяти партий образцов проводились согласно требованиям ГОСТ 26388 на установке ЛТП-2-3. Условия испытаний предусматривали возможность оценки влияния на процесс образования холодных трещин только  $C_{эк}$ . Содержание диффузионного водорода и уровень сварочных напряжений были идентичны для всех образцов.

Анализ полученных значений минимальных разрушающих напряжений, соответствующих образованию холодных трещин в сварных образцах, а также изучение микромеханизма разрушения показали следующее:

- при оценке склонности малоуглеродистых высокопрочных сталей к образованию холодных трещин при сварке необходимо учитывать не только значение углеродного эквивалента, но и содержание углерода, определяющее пластичность формирующихся закалочных структур;
- значения  $C_{эк}$  при этом могут быть увеличены относительно нормативных показателей углеродного эквивалента, принятых для традиционных низколегированных сталей.

## **Расчетное и металловедческое обоснование высокой надежности отводов холодного гнутья с увеличенным углом изгиба, получаемых из труб с повышенной деформационной способностью (для зон АТР)**

*И.П. Шабалов, В.Я. Великоднеев, С.Ю. Настич, В.С. Каленский*  
(ООО «Трубные инновационные технологии»),  
*С.А. Чегуров* (АО «Объединенная металлургическая компания»),  
*М.А. Бубнов* (АО «Выксунский металлургический завод»)

Увеличение угла изгиба отводов относительно значений, регламентированных в ГОСТ 24950-81 (угол на одиночной трубе тип 1 не более 6°, радиус в любом месте отвода не менее 40D), без критического исчерпания пластических свойств металла как в процессе гнута, так и последующей эксплуатации, может быть достигнуто путем использования труб класса прочности К60 с повышенной деформационной способностью (для зон АТР).

Выполнена расчетная оценка МКЭ уровня деформаций и остаточных напряжений при гнутах труб  $\varnothing 1420 \times 21,7$  и  $25,8$  мм для зон АТР. Выявлены места максимальной деформации и остаточных напряжений при разных стратегиях гибки труб. Показано, что в первоначальный момент гнута деформации сосредоточены на внутренней образующей, а затем переходят на наружную образующую трубы. Распределение деформаций имеет несимметричную форму, и в зависимости от шага гнута возможно существенное повышение уровня локальных деформаций. Остаточные напряжения концентрируются в «нейтральной» зоне и в области продольного шва.

Рассмотрены варианты структурных состояний трубных сталей К60 и К65, обеспечивающих повышенную деформационную способность металла благодаря наличию в структуре стали структурных составляющих с существенными различиями в типе, морфологии и прочности. Показаны возможные технологические варианты получения целевых структурных состояний и требуемых свойств листов и труб (с сопоставимым результатом) в промышленных условиях предприятий в России и за рубежом.

Продемонстрировано снижение деформационной способности металла труб К60 в результате нагрева при нанесении покрытия.

Проведен анализ эволюции структуры и свойств металла под воздействием процессов деформационного упрочнения и старения в зависимости от технологического маршрута изготовления отвода с использованием труб с заводским покрытием либо без него.

**Обобщение опыта исследования стойкости труб  
из высокопрочных сталей протяженному разрушению  
(о разработке Атласа полигонных испытаний труб  
класса прочности K65)**

*А.Б. Арабей (ПАО «Газпром»),  
А.Г. Глебов, Л.М. Капуткина (НИТУ МИСис),  
А.И. Абакумов, А.С. Смирнов (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»),  
Т.С. Есиев, С.Е. Яковлев (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
И.Ю. Пышминцев, А.О. Струин (ОАО «РосНИТИ»)*

Одной из важнейших задач, стоявших при проектировании системы магистральных газопроводов с п-ова Ямал, являлось обеспечение экономической эффективности проекта. Решение данной задачи с учетом необходимости сооружения протяженного газопровода высокого давления из региона со сложными природно-климатическими условиями стало возможным только за счет применения высокопрочных труб, обладающих высокой эксплуатационной надежностью и долговечностью.

С целью обеспечения, проверки и подтверждения характеристик труб нового поколения ПАО «Газпром» совместно с рядом научных коллективов был организован и проведен комплекс лабораторных, стендовых и натурных испытаний. Особая значимость в указанном комплексе испытаний отводилась натурным пневматическим испытаниям опытных плетей труб. Проведенные за период 2008–2014 гг. полигонные пневматические испытания труб стали завершающим этапом аттестации производителей, участвовавших в поставках труб для строительства МГ Бованенково – Ухта. Результаты испытаний позволили сформулировать требования к трубам класса прочности K65 в части обеспечения стойкости против протяженных разрушений, регламентировать их в специальном документе – Технических требованиях, обеспечить постановку на производство этих труб и согласовать технические условия на трубы.

Необходимость проведения крупномасштабных экспериментов по имитации эффекта эксплуатационного разрушения газопровода потребовала отработки новых методических подходов к организации и технологическому оснащению испытаний, интерпретации их результатов. Экспериментально была доказана возможность применения труб класса прочности K65 диаметром 1420 мм на давление 11,8 МПа без дополнительных мер по предотвращению протяженных разрушений (бандажирования труб, установки гасителей трещин). Анализ накопленного экспериментального материала по проведенным испытаниям систематизирован в форме Атласа полигонных испытаний с характеристикой опытных плетей труб, подробным описанием условий испытаний (температура, давление, вид засыпки и др.), визуально наблюдаемых эффектов при разрушении опытных плетей, анализом изломов труб. В Атласе наряду с примерами труб, классифицированных по их способности к торможению динамического распространения трещины, проанализированы случаи «нештатных» испытаний, в ходе которых не удалось обеспечить заданную траекторию развития трещины. Систематизированный в Атласе материал стал основой разработки компьютерной модели протяженного вязкого разрушения газопровода.

## О разработке технических требований к композиционным трубам

*М.В. Симаков, В.А. Егоров (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

ООО «Газпром ВНИИГАЗ» была проведена работа по разработке требований к трубной продукции из полимерных композиционных материалов для объектов ПАО «Газпром».

В рамках этой работы ООО «Газпром ВНИИГАЗ» проведен сбор данных по мировому опыту применению труб и изделий трубной продукции из композиционных материалов на объектах добычи, переработки, транспортировки и хранения природного газа.

Практика создания нефтегазопроводов из полимерных композиционных материалов (ПКМ) столкнулась с рядом технических проблем, требующих научного изучения и исследований.

К недостаткам труб из ПКМ следует отнести:

- – повышенную «газопроницаемость» материала, возрастающую пропорционально повышению напряжений в стенке многослойной трубы, что может привести к отслоению внутреннего покрытия или слоя при сбросе давления;
- – отсутствие надежных газогерметичных соединений трубной продукции из ПКМ;
- – отсутствие в настоящее время единого подхода к расчету и обоснованию эксплуатационных характеристик, а также методов оценки качества армированных и многослойных труб из полимерных композиционных материалов.

К преимуществам труб из ПКМ по сравнению со стальными трубами следует отнести в первую очередь высокую коррозионную стойкость. Отсутствует необходимость функционирования системы активной защиты от коррозии газопроводов. Также отсутствует необходимость нанесения наружного антикоррозионного покрытия на трубы в заводских и трассовых условиях.

Действующая в Российской Федерации нормативно-методическая документация не содержит нормативные документы, регламентирующие проектирование, строительство и эксплуатацию газопроводов из ПКМ.

Новизна работы заключается в том, что впервые в рамках системного подхода разработаны предложения по применению труб и изделий трубной продукции из полимерных композиционных материалов на объектах ПАО «Газпром» и обоснованы технические требования к эксплуатационным показателям трубной продукции из данных материалов.

**Разработка и квалификационные испытания методов и технологий ремонта сваркой дефектов труб и сварных соединений подводных переходов газопроводов в сварочно-монтажных камерах, кессонах и в водной среде**

*Е.М. Вышемирский, Т.В. Артёменко (ПАО «Газпром»),  
С.П. Севостьянов, Д.В. Копылов,  
Р.О. Рамусь (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
С.Г. Паршин (Санкт Петербургский политехнический  
университет Петра Великого)*

Представлены методы и технологии ремонта сваркой в сварочно-монтажных камерах, кессонах и в водной среде, применяемые для ремонта подводной части трубопроводов. Приведены факторы, влияющие на существенное изменение теплофизических свойств дуги и защитного газа, интенсификации металлургических процессов окисления и наводороживания, а также на возникновение газовых пор и неметаллических включений, ухудшение стабильности горения дуги, изменение микроструктуры при подводной сварке.

В докладе рассматриваются состав и последовательность работ при квалификационных испытаниях методов и технологий ремонта сваркой дефектов труб и сварных соединений подводных переходов газопроводов в сварочно-монтажных камерах, кессонах и водной среде. Приведены требования к разработке программ по проведению квалификационных испытаний технологий ремонта сухой гипербарической сваркой дефектов труб и сварных соединений подводных переходов газопроводов в кессонах и в водной среде. Оценена возможность использования комплексов, предназначенных для испытания сварочного оборудования и технологических процессов в условиях промышленного давления, до 60 м водного столба. Рассмотрено применение покрытых электродов и порошковых проволок для подводной сварки в гипербарических условиях при сварке в кессонах и водной среде.

## **Стратегические подходы к обеспечению качества трубной продукции для перспективных проектов ПАО «Газпром»**

*П.П. Степанов*

*(АО «ОМК» (АО «Выксунский металлургический завод»))*

Объединенная металлургическая компания – один из крупнейших отечественных производителей труб и соединительных деталей для магистральных газопроводов, железнодорожных колес и другой металлопродукции для энергетических, транспортных и промышленных компаний. Приоритетным направлением работы компании является обеспечение объектов и предприятий ПАО «Газпром» трубной продукцией (трубами и соединительными деталями) высокого качества. В настоящее время в компании создана эффективная производственная цепочка, направленная на обеспечение высокого качества продукции для газовой промышленности, предусматривающая приоритетное использование трубной заготовки (листового и рулонного проката) собственного производства.

Системная работа с ПАО «Газпром» в области освоения производства инновационной трубной продукции осуществляется в рамках программ научно-технического сотрудничества, которые периодически обновляются с учетом результатов работы и постановки новых задач. Программой сотрудничества на 2015–2020 гг. предусмотрены совместные прикладные научные исследования с привлечением потенциала корпоративного Инженерно-технологического центра (ИТЦ) АО «ОМК», в задачи которого входит как организация и проведение научно-исследовательских работ, так и техническое сопровождение производства. Исследования проводятся в Центре исследовательских лабораторий (ЦИЛ), который является подразделением ИТЦ. Комплекс ЦИЛ оснащен уникальным исследовательским оборудованием и укомплектован высококлассными специалистами. Реализация системного подхода к обеспечению качества трубной продукции обуславливает приоритетное участие компании в реализации таких перспективных проектов ПАО «Газпром», как Nord Stream, «Турецкий поток», «Сила Сибири» и др.

На сегодняшний день трубный комплекс АО «ОМК» готов поставлять на объекты ПАО «Газпром» инновационную продукцию, соответствующую самым жестким техническим требованиям.

**Новые технологии сварки с применением комплексов оборудования контактной сварки оплавлением. Разработка нормативных документов по сварке и контролю качества сварных соединений**

*И.Г. Самородов, Т.В. Артёменко (ПАО «Газпром»),  
А.Н. Теренин (ЗАО «Псковэлектросвар»),  
В.М. Силкин, С.П. Севостьянов, Ю.А. Соловьёв  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Работа по внедрению контактной стыковой сварки оплавлением при строительстве магистральных газопроводов представляет собой комплексный проект, который реализуется одновременно по двум направлениям.

Первое направление, реализуемое ЗАО «Псковэлектросвар» совместно с АО «МРТС», ЗАО «Стройтрансгаз», НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Баумана, – создание оборудования сварочных комплексов для сварки, снятия грата, термообработки и контроля стыков.

Второе, реализуемое ПАО «Газпром», ООО «Газпром ВНИИГАЗ», НУЦСК «Сварка и контроль» при МГТУ им. Баумана, ИЦ «Политехтест» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»), ЗАО «Псковэлектросвар», – разработка необходимой нормативной документации: СТО Газпром «Инструкция по автоматической контактной сварке оплавлением стыковых соединений труб для строительства газопроводов».

В докладе отражено текущее состояние дел и перспективы применения контактной стыковой сварки оплавлением при строительстве газопроводов.

## **Применение моделирования электромагнитных и тепловых процессов в системах индукционного нагрева при проектировании оборудования для ускоренной термической обработки кольцевых сварных соединений высокопрочных труб**

*А.А. Письменный (ЗАО «Псковэлектросвар»)*

Автоматическая контактная сварка оплавлением стыковых соединений толстостенных труб доказала свою высокую надежность многолетней практикой эксплуатации трубопроводов различного назначения, в том числе и газопроводов. Надежность технологии сварки и термической обработки кольцевых соединений обеспечивается современным уровнем автоматизации комплекса оборудования в сочетании с высокой производительностью, при этом сварные соединения характеризуются высокими показателями механических свойств.

Для обеспечения нормативных показателей по ударной вязкости для соединений труб из высокопрочных сталей применяется послесварочная местная ускоренная термическая обработка сварного шва и околошовной зоны, осуществляемая методом индукционного нагрева.

Реализация численного метода конечных элементов для моделирования тепловых полей при индукционном нагреве через решение задачи распределения электромагнитных полей переменных токов позволяет с приемлемой точностью проектировать индукционные системы, обеспечивающие локализованный подвод тепловой мощности к обрабатываемому объекту и минимизацию термовлияний, приводящих к излишним разупрочнениям металла вне обрабатываемой зоны.

Практические результаты измерений температурных полей при индукционной термообработке сварных швов стыковых соединений труб подтверждают адекватность создаваемых моделей реальным условиям.

## **Освоение производства электросварных труб уникального типоразмера для Киринского месторождения**

*А.Б. Гизатуллин, А.А. Брагин, А.А. Федяев  
(ОАО «Челябинский трубопрокатный завод»),  
Т.С. Есеев, С.Е. Яковлев, И.В. Сивохин, А.И. Цыплаков  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

ОАО «Челябинский трубопрокатный завод» особое внимание уделяет участию в новых перспективных и наукоемких трубопроводных проектах как российских, так и зарубежных. Одним из таких инновационных направлений стал проект освоения промышленных электросварных труб  $\varnothing 508 \times 22,2$  мм – SAWL 450 I FD и  $508 \times 24,9$  мм – X65 с 3-слойным наружным полиэтиленовым покрытием для сухопутных и подводных трубопроводов Киринского газоконденсатного месторождения (ГКМ).

Российские трубные компании не принимали участие в поставках труб для обустройства первой очереди Киринского ГКМ ввиду отсутствия технической возможности изготовления сварных труб диаметром менее 530 мм.

ОАО «ЧТПЗ» является единственной российской компанией, принявшей решение освоить производство столь «неудобного» типоразмера труб, приступив к работам весной 2015 г. Выполненный компанией анализ технологического процесса изготовления труб указанного сортамента показал, что основной технической сложностью их производства является малый внутренний диаметр, который с учетом допусков на овальность, кривизну и толщину стенки находится на пределе возможностей оборудования ТЭСЦ «Высота 239». Дополнительную проблему создавало неблагоприятное соотношение толщины стенки к диаметру труб и ожидаемое в связи с этим изменение свойств металла в процессе трубного передела.

В кратчайшие сроки на ОАО «ЧТПЗ» была подготовлена и реализована Комплексная программа мероприятий по модернизации и усовершенствованию оборудования к изготовлению данного сортамента труб. И уже в августе 2015 г. совместно со специалистами ООО «Газпром ВНИИГАЗ» была успешно проведена квалификация технического процесса изготовления труб для Киринского ГКМ, разработаны и согласованы ТУ на продукцию.

Таким образом, сооружение второй очереди ответственного проекта ПАО «Газпром» будет осуществляться из труб российского производства.

## Оценка допустимости дефектов сварных соединений с учетом возможностей неразрушающего контроля

*А.С. Куркин*

*(ФГАУ «НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана)»*

Технология автоматизированной сварки в заводских условиях в идеале должна обеспечивать полное отсутствие дефектов. Однако при ручной сварке в монтажных условиях появление дефектов практически неизбежно. Стремление устранить все выявленные дефекты приводит к появлению других изъянов в процессе ремонта. В то же время «полностью бездефектные» сварные соединения, безусловно, содержат пропущенные и не выявляемые применяемым методом контроля дефекты. Существующие нормы допустимости дефектов содержат такую категорию дефектов, как трещины, которые признаны полностью недопустимыми независимо от размеров. Это создает тупиковую ситуацию, в которой возможность продолжения производства опирается только на несовершенство средств контроля.

При принятии решения о допустимости выявленных дефектов приходится исходить из информации, полученной применяемым способом неразрушающего контроля. Эта информация всегда неполна. Рентгеновский контроль дает достаточно объективное представление о форме и размерах одной проекции дефекта, но не позволяет оценить его расположение по толщине стенки трубы. Данные ультразвукового контроля полнее, но требуют расшифровки, результаты которой не всегда однозначны. Практически ни один способ контроля не позволяет надежно идентифицировать тип дефекта (отличить несплавления от шлаковых включений или пор).

Компьютерное моделирование процесса эксплуатации трубопровода позволяет оценить возможность разрушения от различных дефектов с учетом амплитуды и числа циклов нагрузок. Результаты расчетов позволили сформулировать дополнительные требования к средствам и методике контроля, необходимые для оценки прочности и ресурса трубопроводов. В первую очередь требуются хотя бы приближенные данные о размере дефекта в направлении толщины и о его расстоянии от наружной и внутренней поверхностей трубы. При наличии такой информации могут быть существенно увеличены допустимые размеры дефекта вдоль и поперек шва.

Некоторые данные могут быть получены исходя из сварочного происхождения дефектов в шве. Можно с достаточной вероятностью предполагать, что размеры дефектов в направлении поперек шва не превосходят размеров поперечного сечения одного валика многопроходного шва.

Наименее ясным является вопрос о взаимном влиянии соседних дефектов. Условия их объединения в единый дефект существенно различаются в зависимости от отраслевых норм. Соотношение амплитуды и числа циклов нагрузки магистральных трубопроводов таково, что заметный рост дефектов за срок службы возможен только при их больших раз-

мерах (при этом из трех размеров дефекта наибольший оказывает наименьшее влияние на долговечность), а также при расположении дефекта рядом с конструктивными концентраторами напряжения. В связи с этим даже близкорасположенные небольшие дефекты можно рассматривать как одиночные, поскольку их слияние за срок службы маловероятно.

Целесообразно внести такие изменения в нормы допустимости дефектов и методики их применения, которые позволят обеспечить безопасную эксплуатацию и при этом сократить перебраковку.

## **Анализ технологии сварки продольных швов магистральных газопроводных труб**

*А.А. Величко*

*(ПАО «Северсталь», ЗАО «Ижорский трубный завод»),  
И.П. Шабалов (Ассоциация производителей труб)*

1. Обзор изменения технических требований к трубам больших диаметров (ТБД).

Рост рабочего давления газопроводов потребовал увеличения ударной вязкости основного металла для остановки протяженного разрушения.

2. Определяющие факторы свойств сварного соединения продольного шва труб.

3. Зависимость ударной вязкости сварного соединения от скорости охлаждения после процесса наложения сварных швов.

4. Неравномерность механических свойств зоны термического влияния (ЗТВ), обусловленная структурным состоянием металла этой области.

5. Скорости охлаждения ЗТВ при различных видах сварки.

Многодуговая сварка под защитным слоем флюса, лазерная дуговая сварка, монтажная, лазерная сварки.

6. Морфология различных участков ЗТВ, в зависимости от погонной энергии и свойств охлаждающей поверхности.

7. Лазерно-гибридная сварка труб БД.

8. Свойства сварного соединения лазерной гибридной сварки ТБД.

9. Перспективы освоения производства ТБД класса прочности Х100.

**Организация ремонта труб повторного применения  
и трубопроводной арматуры с применением технологий сварки  
и воздушно-плазменной строжки  
в ООО «Газпром трансгаз Чайковский»**

*А.Ю. Котоломов (ООО «Газпром трансгаз Чайковский»)*

В докладе представлены результаты выполнения ремонтов труб с коррозионными и стресс-коррозионными дефектами и корпусов шаровых кранов Ду 400–1000 с дефектами сварных швов и дефектами литья, обнаруженными при капитальном ремонте технологических трубопроводов компрессорных станций и изоляционных покрытий на линейной части магистральных трубопроводов (ЛЧ МГ).

Приведены примеры применения автоматической плазменной строжки в комплекте с прямолинейными поясами на магнитном креплении для выборки дефектных участков: продольных заводских сварных швов, протяженных коррозионных и стресс-коррозионных повреждений наружной поверхности труб.

Рассмотрены особенности применения ручной плазменной строжки при выборке локальных дефектных участков сварных швов и основного металла на трубах и корпусных деталях шаровых кранов с последующей заваркой мест выборки.

Перечислен необходимый объем процедур аттестации технологий ремонта сваркой основного металла и сварных швов труб и корпусных деталей шаровых кранов.

Показан полученный за прошедший год опыт применения при ремонте 470 труб Ду 1400 «Временной инструкции по применению автоматической и ручной плазменной строжки для выборки дефектов труб и СДТ коррозионного и стресс-коррозионного происхождения» (утв. 31.07.2014 г. начальником Департамента капитального ремонта ОАО «Газпром» А.А. Филатовым).

Проанализированы особенности организации работ по обследованию и ремонту труб Ду 1400 со стресс-коррозионными дефектами с целью их повторного применения на участках 3-й категории ЛЧ МГ в различных условиях: при трассовых базах, на открытых производственных площадках ЛПУ МГ, а также в заводских условиях цеха подготовки производства Инженерно-технического центра Общества. Приведены данные по оснащению необходимым вспомогательным оборудованием и мобильными укрытиями вышеуказанных площадок.

## **Диагностика сварных соединений радиографическим методом неразрушающего контроля под давлением, без прекращения транспорта газа в условиях ООО «Газпром трансгаз Ухта»**

*Е.А. Дасис, А.Н. Товстый, Н.К. Харлампиди  
(ООО «Газпром трансгаз Ухта»)*

Актуальность проблемы введения в эксплуатацию объектов транспорта газа, предназначенных для непрерывных экспортных поставок, когда остановка транспорта газа даже на несколько минут связана со многими сложностями, значительно возросла.

Задача проведения радиографического контроля сварных соединений труб большого диаметра с большой толщиной стенки осложнена наличием в полости газопровода вместе с молекулами газа механических примесей, молекул воды и т.д., которые расфокусируют рентгеновский луч. В связи с этим радиографические снимки получаются размытыми, нечеткими и малоконтрастными и их качество в этих условиях не соответствует требованиям НД.

В докладе предложена методика проведения радиографического контроля труб большого диаметра (Ду 1400) с большой толщиной стенки (более 20 мм) под давлением, без прекращения транспорта газа.

Приведены результаты радиографического контроля сварных соединений, выполненного в условиях непрекращающегося транспорта газа.

Сделан вывод о том, что диагностирование толстостенных сварных соединений труб большого диаметра радиографическим методом неразрушающего контроля без прекращения транспорта газа возможно при применении соответствующих условий, материалов, оборудования и правильно разработанной технологии контроля.

## **Практическое применение трубной продукции, обладающей высокой деформационной способностью, при проектировании газопроводов ПАО «Газпром»**

*С.Н. Александров, О.А. Майорова (АО «Гипроспецгаз»)*

Современные нормы проектирования трубопроводов предполагают расчет по первому и второму предельному состоянию – разрушению и ограничению деформаций. Причем оба выражены через условия ограничения напряжений, возникающих в материале труб, а точнее – напряжения не должны превышать некоторой части от нормативного предела текучести металла трубы. Таков классический подход к проектированию магистральных трубопроводов, нашедший свое отражение в нормативной документации Российской Федерации.

В последнее время специалисты АО «Гипроспецгаз» часто сталкиваются с информацией о проведении исследований в области применения трубной продукции, обладающей высокой деформационной способностью. Нормируемые характеристики данной трубной продукции (предел прочности, предел текучести и т.д.) не отличаются от «обычных» труб, поэтому применение классического подхода к проектированию трубопроводов с их использованием не позволяет получить какие-либо преимущества. Такие трубы могут испытывать деформации, превосходящие деформации «предела текучести», без потери нормальной работоспособности. Это заставляет задуматься о переосмыслении «классического» подхода к проектированию магистральных трубопроводов с учетом развития современных технологий.

Первым шагом на пути создания норм проектирования, основанных на ограничении предельных деформаций трубопровода и позволяющих в полной мере использовать преимущества высокодеформируемой трубной продукции, являются «Рекомендации по применению труб HIPER с высокой деформационной способностью в пределах зон активных тектонических разломов, в районах повышенной сейсмической активности и вечной мерзлоты».

Наиболее актуально применение «высокодеформируемых» труб на объектах со сложными условиями строительства. Настал момент, когда необходимо создать «механизм» для их практического применения, что в свою очередь даст толчок к дальнейшему совершенствованию характеристик трубной продукции и повышению надежности трубопроводного транспорта России.

## **Взаимосвязь эквивалента углерода высокопрочных трубных сталей с их реакцией на термический цикл сварки**

*Л.А. Ефименко, А.А. Рамусь,  
(РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина),  
Д.Е. Вышемирский (ООО «Газпром трансгаз Москва»)*

Реакция сталей на термический цикл сварки является одним из важнейших показателей свариваемости. Она проявляется в особенности структурно-фазовых превращений и изменениях комплекса их свойств.

Целью данной работы явилось исследование влияния химического состава на термический цикл сварки.

Исследования выполнены на малоуглеродистых микролегированных сильными карбидообразующими элементами высокопрочных трубных сталях, отличительной особенностью которых является низкое содержание углерода и наличие таких карбидообразующих элементов, как Nb, V, Ti. Значение эквивалента углерода изменялось от 0,35 до 0,54 %.

## **Наружные полиэтиленовые покрытия труб заводского нанесения**

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

В докладе содержится информация о применяемых в настоящее время наружных полиэтиленовых покрытиях труб заводского нанесения, применяемых на объектах ПАО «Газпром» при строительстве, реконструкции и ремонте газопроводов.

Также освещаются следующие аспекты:

- отраслевые стандарты и изменения в них, в которых представлены основные требования по аттестации и применению полиэтиленовых покрытий в заводских условиях;
- применение труб с полиэтиленовым покрытием для нанесения внутреннего гладкостного и наружного гидротеплоизоляционного покрытия;
- перспективные материалы отечественных производителей для антикоррозионных полиэтиленовых покрытий для защиты от коррозии труб в заводских условиях и технологии их нанесения.

На основании проведенных разработок и испытаний свойств материалов разработаны конструкции новых типов полиэтиленовых покрытий труб.

## **Диаграмма деформации и развитие процесса разрушения при испытании падающим грузом**

*А.Б. Арабей (ПАО «Газпром»),  
А.Г. Глебов, Л.М. Капуткина (НИТУ МИСИС),  
Т.С. Есеев (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
А.И. Абакумов (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»),  
И.Ю. Пышминцев (РосНИТИ),  
Б.А. Сарычев (ОАО «ММК»)*

К числу важнейших параметров, оцениваемых при проведении приемо-сдаточных испытаний труб большого диаметра, относятся испытания образцов металла труб на разрыв падающим грузом (ИПГ). Согласно требованиям нормативных документов количество вязкой составляющей в изломе образцов не должно быть меньше 85 %. Однако специфика и разнообразие строения изломов образцов ИПГ, особенно при испытании высокопрочных высоковязких сталей, зачастую делают результаты производимой оценки субъективной и неоднозначной, что существенно сужает потенциальные возможности данного вида испытаний.

В последнее время внимание исследователей привлечено к использованию инструментированных методов ИПГ с построением диаграмм деформации (разрушения) в координатах «усилие – путь» или «усилие – время». Перспективность использования диаграмм разрушения при ИПГ высоковязких сталей нового поколения состоит в возможности:

- разделения процессов зарождения и распространения трещины;
- увязки топографических и энергетических параметров испытания с конкретными зонами разрушения;
- оценки ресурса вязкости сталей наряду с данными по количеству вязкой составляющей в изломе.

Расширенные исследования проведены в ЦЗЛ ОАО «ММК» на инструментированном копре DWT40 ИМАТЕК на образцах стали класса прочности К65 толщиной 27,7 мм, отобранных из листового проката ОАО «ММК», и из труб производства ОАО «ЧТПЗ». Испытаниями был охвачен диапазон температур от +20 до –80 °С с шагом в 10 °С.

Установлены корреляционные связи между топографическими, геометрическими и энергетическими параметрами разрушенных при ИПГ образцов с топографией различных зон (областей) на поверхности изломов, образующихся при распространении разрушения. Показана взаимосвязь изученных параметров с диаграммами деформации, полученных при ИПГ.

## **Проект производства разрезных тройников в России**

*О.В. Кондратьева (ООО «ТДВ Евразия»)*

Вопросам импортозамещения ПАО «Газпром» уделяет особое внимание и проводит систематическую работу по организации изготовления на отечественных предприятиях импортозамещающей продукции. В рамках реализации программы импортозамещения совместно с ООО «Газпром ВНИИГАЗ» компанией «Т.Д. Вильямсон» в 2015 г. локализовано производство разрезных тройников нового поколения LOCK-O-RING® PLUS на территории Российской Федерации. Производство входит в состав ООО «ТДВ Евразия». К 2017 г. все типоразмеры тройников до Ду 1400 будут производиться на российском заводе, при этом 100 % расходных материалов и комплектующих компонентов будут замещены компонентами российского производства.

В докладе подробно рассматриваются все этапы организации производства в России, представлена организационная структура производства и степень локализации с 2015 по 2017 гг. с разбивкой по годам.

## **Анизотропия механических свойств трубных сталей после термомеханической контролируемой обработки**

*И.Ю. Пышминцев, А.О. Струин,  
В.Д. Квашин (РосНИТИ),  
А.М. Гервасьев, Р.Х. Петров  
(Гентский университет, )*

В статье приведены исследования анизотропии прочностных, пластических и вязких свойств феррито-бейнитных трубных сталей К65 с различными параметрами структуры. Установлено, что прочностные свойства минимальны в продольном ( $L$ ) направлении, средние – в направлении толщины ( $Z$  направление) и максимальны - в поперечном ( $T$ ) направлении, относительно направления прокатки листа (оси трубы). При этом анизотропия прочностных свойств невелика, практически изменяется с понижением температуры испытания и достигает 100 МПа по пределу текучести и 50 МПа по временному сопротивлению.

Анизотропия вязких свойств значительно более ярко выражена, чем прочностных. Ударная вязкость в  $T$  и  $L$  направлениях составляет не менее 250 Дж/см<sup>2</sup> при –20 °С, а в  $Z$ -направлении не более 30 Дж/см<sup>2</sup> при той же температуре испытания. Низкая вязкость в  $Z$  направлении определяет склонность исследованных сталей к образованию расщеплений при распространении вязкого разрушения (хрупких трещин, параллельных плоскости прокатки листа). Анализ микроструктуры и кристаллографической текстуры рассматриваемых сталей показал, что склонность к образованию расщеплений определяется сочетанием ряда микроструктурных факторов, в том числе преимущественным расположением плоскостей скола {001} параллельно плоскости прокатки, морфологией элементов микроструктуры и размером и характером распределения МА-составляющей.

## **Закономерности коррозионного растрескивания под напряжением трубных сталей класса прочности Х70 в модельных грунтовых электролитах с рН близким к нейтральному**

*А.Б. Арабей (ПАО «Газпром»),  
И.В. Ряховских, Р.И. Богданов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Результаты диагностических обследований участков магистральных газопроводов в России и за рубежом показали, что независимо от производителей труб и режимов эксплуатации газопроводов трещины коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) зарождаются только при контакте поверхности стали с грунтовым электролитом в местах отслоения или разрушения защитного покрытия.

В основе работы – результаты коррозионно-механических испытаний образцов, изготовленных из стали класса прочности Х70. Для исследования стадии образования колонии трещин проводились циклические испытания на полнотолщинных образцах металла труб с сохранением их исходной кривизны. Скорость развития трещин вглубь металла определяли на образцах балочного типа при статической и циклической нагрузке. Фоновыми средами, моделирующими грунтовой электролит, служили цитратный буфер (рН 5,5) и смесь раствора  $NS_4$  и боратного буфера (рН 7,0). В фоновые среды добавляли вещества, которые являются компонентами природного грунтового электролита, а также известные ингибиторы коррозии и промоторы наводороживания (НВ) металла.

Установлено, что зарождение трещин происходит на локальных повреждениях металла, образованных в процессе производства труб или выплавки стали. Неметаллические включения оказывают значительное влияние на сопротивление стали КРН. Установлено отрицательное влияние повышенного содержания полигонального феррита на фоне структурной полосчатости на стойкость стали в отношении КРН. Активаторы анодного растворения (АР) металла (сульфид, карбонат-ионы) ускоряют рост трещины вглубь металла, а ингибиторы АР (бензотриазол, катамин АБ) уменьшают. Промоторы НВ стали не оказывают влияния на КРН (йодид-ионы). Катодная поляризация трубной стали тормозит рост трещины при статических и относительно малых циклических нагрузках.

Результаты выполненных работ внедрены в действующую нормативную документацию ПАО «Газпром» в области лабораторных испытаний трубных сталей на стойкость против КРН и наземных диагностических обследований участков газопроводов.

## **Исследование влияния металлургических факторов на стойкость современных трубных сталей против коррозионного растрескивания под напряжением**

*К.А. Удод, И.Г. Родионова, О.Н. Бакланова, А.Ю. Казанков  
(ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»)*

Современные трубные стали, используемые для изготовления труб большого диаметра, существенно отличаются от сталей предыдущих поколений. Данные стали характеризуются высокой стабильностью химического состава, пониженным содержанием углерода, вредных примесей и неметаллических включений, а также мелкозернистой и гомогенной микроструктурой. В то же время ввиду отсутствия опыта длительной эксплуатации газопроводов из означенных сталей весьма актуальной представляется разработка универсальных методик оценки их стойкости против локальных видов коррозии, прежде всего коррозионного растрескивания под напряжением (КРН).

В работе представлены результаты коррозионных и коррозионно-механических испытаний современных трубных сталей, на основании которых сделаны выводы о влиянии неметаллических включений на стойкость труб против КРН.

По результатам комплекса лабораторных исследований образцов металла труб с дефектами КРН получена экспериментальная зависимость между образованием коррозионно-механических трещин и поврежденностью поверхности стали локальной коррозией вследствие контакта поверхности металла с почвенным электролитом. Показано, что основным металлургическим фактором, влияющим на стойкость феррито-перлитных сталей против КРН, является повышенная загрязненность классическими неметаллическими включениями, в то время как стойкость феррито-бейнитных сталей зависит от загрязненности коррозионно-активными неметаллическими включениями.

## **Особенности сварки разнородных сталей, относящихся к разным структурным классам, применительно к технологическим трубопроводам вспомогательного назначения**

*В.В. Бровко, Н.В. Коберник*

*(ФГАУ «НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана»)*

Особенностями сварных соединений технологических трубопроводов вспомогательного назначения является широкое разнообразие свариваемых между собой сталей и высокие требования к качеству сварных соединений. При сварке технологических трубопроводов широко используется сварка неплавящимся электродом в среде инертных газов, при этом применяют как ручную, так и автоматическую орбитальную сварку. Этот способ сварки является наиболее универсальным и обеспечивает максимально достижимое качество сварных соединений. При сварке технологических трубопроводов вспомогательного назначения часто возникает необходимость сварки разнородных соединений. Так, часто приходится выполнять сварку коррозионностойких сталей аустенитного класса с теплоустойчивыми сталями перлитного класса, т.к. запорная арматура изготавливается, как правило, из стали аустенитного класса, а трубопровод – из стали перлитного класса. Соединение сталей различного структурного класса накладывает определенные ограничения на технологию сварки с точки зрения тепловложения.

В настоящее время широкое распространение получили импульсные технологии, особенно при реализации автоматической орбитальной сварки. Такие технологии позволяют качественно сформировать сварной шов «на весу» в различных пространственных положениях, но при этом изменяется тепловложение (по сравнению с непрерывными процессами). Поэтому проведенная работа посвящена особенностям технологии импульсной автоматической сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов коррозионностойких сталей аустенитного класса с теплоустойчивыми сталями перлитного. Рассмотрена возможность получить сварное соединение с требуемыми механическими свойствами без предварительного подогрева и последующей термообработки.

## **Актуальные направления подготовки специалистов сварочного производства, неразрушающего и строительного контроля, участвующих в строительстве, ремонте и эксплуатации объектов ГТС**

*Н.А. Анисимова, С.П. Севостьянов, Ю.А. Соловьёв,  
О.В. Чиханова (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В докладе освещается опыт ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в организации комплексной подготовки специалистов сварочного производства и неразрушающего контроля дочерних обществ ПАО «Газпром» и подрядных организаций по освоению современных методов и технологий, применяемых при строительстве, эксплуатации и ремонте объектов ГТС.

В связи с реализацией инвестиционных проектов ПАО «Газпром», развитием наукоемких технологий, обеспечивающих качество проведения работ в области сварки и контроля сварных соединений, совершенствованием нормативной и технической документации Компании одним из важных направлений является опережающая, комплексная подготовка высококвалифицированных кадров.

Особенность подготовки – реализация совместных образовательных проектов, координатором которых является ООО «Газпром ВНИИГАЗ». В качестве соисполнителей выступают производители технологий сварки и неразрушающего контроля, ведущие учебные центры и образовательные организации. В докладе приводятся примеры совместных образовательных проектов за 2014–2015 гг.:

1) обучение специалистов сварочного производства применению технологий ручной и механизированной сварки (ООО «Газпром ВНИИГАЗ» - Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого);

2) обучение специалистов неразрушающего контроля применению новых методов в этой области: АУЗК (ООО «Газпром ВНИИГАЗ» - АНО УИЦ РОНКТД «Спектр» под руководством академика Ключева В.В.) и МУЗК (ООО «Газпром ВНИИГАЗ» - ООО «Алтес»).

В докладе представлен обзор программ повышения квалификации специалистов в области радиографического контроля: с применением систем оцифровки и архивирования радиографических снимков; систем цифровой и компьютерной радиографии, разработанных ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

**Инновационные разработки  
компании GE Inspection Technologies  
для повышения производительности и надежности  
эксплуатации объектов газотранспортной системы**

*А.А. Устинов, А.Л. Степчков  
(ООО «ДжиИ Рус»)*

В докладе представлена информация об ультразвуковом, рентгенографическом, вихретоковом и видеоэндоскопическом оборудовании в области неразрушающего контроля компании GE Inspection Technologies, которое используется для повышения производительности и увеличения надежности в эксплуатации объектов газотранспортной системы.

Показаны уникальные характеристики и параметры, подтвержденные полученными экспериментальными и практическими результатами.

Плоскопанельные детекторы DXR250C-W и DXR250U-W позволяют получать результаты высокого класса в самых сложных условиях. Сканер на запоминающих пластинах CRxVision, оснащенный инновационными функциями для повышения производительности, увеличения ресурса пластины и обеспечения прекрасного качества изображения, разработан специально для контроля сварных соединений.

Рентгеновская трубка ERESO300MF4 сокращает время экспозиции в 3–5 раз при радиографическом контроле в области применения CR/пленки особенно там, где требуется геометрическое увеличение.

## **ОАО «ММК» – надежный поставщик металлопроката для газодобывающей отрасли**

*С.В. Денисов, П.А. Стеканов (ОАО «ММК»)*

В 2009 г. в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» был запущен в эксплуатацию уникальный для России производственный комплекс, включающий установки по выплавке, доводке и разливке стали, стан 5000 с усилием прокатки 12 тыс. т, отделение по термообработке, не имеющее аналогов в отечественной промышленности. Данный комплекс позволяет выпускать толстолистовой прокат не только для трубной отрасли, но и для мостостроения и судостроения, причем как надводных, так и подводных изделий.

В 2014 г. Правительством принята государственная программа развития Арктической зоны Российской Федерации. Одной из задач Программы является расширение базы сырьевых ресурсов Арктики. Данное направление потребует разработки новых участков недр, строительство систем газо- и нефтепроводов, объектов подготовки газа, заводов по сжижению и терминалов по перевалке сжиженного природного газа. Также реализация Программы позволит развить гражданское судостроение, в том числе за счет производства принципиально новых для отечественной морской техники судов-газовозов для перевозки сжиженного природного газа и танкеров для перевозки нефти усиленного ледового класса для работы в Арктике и на Дальнем Востоке. Кроме этого, планируется внедрение таких «прорывных» технологий, как создание перспективных обитаемых подводных технических средств в составе технологической платформы «Освоение океана».

Реализация всех проектов в данной сфере потребует использования уникальных высокопрочных холодно- и коррозионностойких металлоизделий, эксплуатирующихся в экстремальных климатических условиях. Данный комплекс свойств стали обеспечивается за счет оптимальной чистоты стали и формирования определенной микроструктуры металлопроката.

Имеющийся комплекс технологического оборудования ОАО «ММК» позволит без дополнительных затрат производить перспективный металлопрокат и/или нарастить объемы производства выпускаемого в настоящее время холодно- и коррозионностойкого проката.

## **Опыт применения автоматизированного ультразвукового контроля в международных проектах**

*В.В. Панков, Д.С. Померанцев (ООО «Олимпас Москва»)*

Компания Olympus – признанный мировой лидер в производстве систем автоматического ультразвукового контроля (далее – АУЗК), полностью соответствующих требованиям международных стандартов в области строительства и контроля магистральных трубопроводов, таких как DNV-OS-F-101 «Submarine pipeline systems. Offshore standard», DNV-RP-F118 «Pipe girth weld AUT system qualification and project specific procedure validation. Recommended practice», ASTM E-1961 «Standard practice for mechanized ultrasonic testing of girth welds using zonal discrimination with focused search units» и API 1104 «Welding of pipelines and related facilities».

В докладе освещается опыт применения систем АУЗК при строительстве магистральных газопроводов ключевыми партнерами ООО «Олимпас Москва», строительными и подрядными организациями: Oceaneering, Saipem, RTD APPlus и др. Показаны основные преимущества метода АУЗК, статистические выкладки и дана оценка эффективности метода на основании международного опыта.

## **Автоматизированный ультразвуковой контроль вместо радиографического контроля**

*В.Г. Бадалян, А.Х. Вовилкин  
(ООО «НПЦ «ЭХО+»)*

Рассмотрены преимущества и недостатки радиографии и автоматизированного ультразвукового контроля с когерентной обработкой данных (АУЗК). Сопоставляются информативность и чувствительность этих методов. Проанализированы возможности измерения размеров дефектов в радиографии и при АУЗК. Утверждается, что для практических целей выявляемость и погрешность определения геометрических размеров дефектов при АУЗК с когерентной обработкой данных вполне достаточна.

Приведен пример применения системы с когерентной обработкой данных для контроля аустенитных сварных соединений трубопроводов значительной толщины – до 45 мм. Трубопроводы использованы при строительстве комплекса каталитического крекинга. Хронометрирование работ показало, что выполнение АУЗК одного сварного соединения  $\varnothing 508 \times 34$  мм не превышало 60 мин при возможности проведения других монтажных работ.

## **Программа ООО «ВЕЛДЕР» по развитию производства импортозамещающего сварочного оборудования**

*И.Е. Воронин (ООО «ВЕЛДЕР»)*

Ведущее направление деятельности компании – развитие собственного производства конкурентоспособной, импортозамещающей сварочной техники.

В настоящее время продолжается сотрудничество с компанией EWM и осуществляется техническая поддержка их оборудованию на территории России. В числе партнеров ООО «ВЕЛДЕР» – несколько компаний из Европы: SELCO, TBI, Scomex, Fortrans и др., которые являются поставщиками компонентов для производства.

Сегодня основная часть бизнеса – это оборудование собственного производства, в частности:

- разработки: оборудование для механизированной сварки МИГ/МАГ; системы управления сварочных аппаратов; устройства подачи проволоки для TIG и МИГ/МАГ сварки;

- проекты по совместному производству инверторных аппаратов для МИГ/МАГ и MMA сварки в рамках совместного производства с европейскими компаниями;

- сотрудничество с российскими разработчиками силовых инверторных модулей и цифровых систем управления.

В докладе приводится обзор ряда изделий.

Сварочный аппарат ВУЛКАН 315 как альтернатива сварочному источнику PICO 300 (компании EWM) доказал не только свою конкурентоспособность по техническим показателям, но и высокую надежность в процессе эксплуатации в реальных полевых условиях. В настоящее время ведутся работы над его новой версией, задача – снизить два показателя: вес и стоимость.

В текущем году начато серийное производство конверторного источника СКАТ 520 (в развитие номенклатурного ряда источников серии «СКАТ»), а также более мощной модели СКАТ 520Н3 для применения в установках автоматизированной сварки и наплавки. Изделие имеет отличные показатели мощности: 100 % ПВ при нагрузке 400 А. Применение разработанного электронного дросселя упрощает настройку аппарата и позволяет получить отличные результаты при автоматической и механизированной сварке в среде защитных газов и их смесях, сварке самозащитной проволокой, сварке и наплавке под слоем флюсов. В аппарате реализована функция сварки штучным электродом.

Также в докладе затрагиваются вопросы, касающиеся развития собственного производства. Делается акцент на проблеме насыщения отечественного рынка сварочного оборудования, произведенного за ру-

бежом под брендом российских компаний, причем фирмы регистрируются как отечественный производитель. Таким образом, в нарушение Указа Президента от 23.01.2015 г. № 31 «О дополнительных мерах по противодействию незаконному обороту промышленной продукции», интересов российских производителей и потребителей сварочного оборудования на наш рынок открывается дорога производителям, которые пренебрегают качеством, надежностью и безопасностью. Автор считает, что производители и потребители должны объединить свои усилия для противодействия этому явлению. Специалисты, занимающиеся сертификацией и аттестацией оборудования, должны занять государственную позицию.

## Оборудование индукционного нагрева

*С.А. Рачков (ООО «НПП «ЭЛТЕРМ-С»)*

В докладе представлен ряд оборудования индукционного нагрева токами средней частоты, выпускаемого НПП «ЭЛТЕРМ-С». Предприятие разрабатывает и изготавливает оборудование индукционного нагрева различного технологического назначения, предназначенное для закалки, пайки, наплавки и нагрева с последующей механической деформацией.

Оборудование применяется для предварительного и сопутствующего подогрева сварных соединений при строительстве и ремонте трубопроводов, в том числе при проведении врезок под давлением на действующих магистральных газопроводах без остановки транспорта газа. Кроме этого может применяться для термообработки после сварки, а также для подогрева наружной поверхности трубопровода перед нанесением защитного покрытия.

Выпускаемый ряд оборудования охватывает мощности установок от 16 до 630 кВт частотой от 250 Гц до 10 кГц. Эксплуатируется в трассовых условиях, условиях заводских цехов, ЛПУ, ТЭЦ.

Наибольшее количество установок мощностью от 30 до 50 кВт, используются для подогрева и термообработки при сварке труб. Более мощные установки (160–630 кВт) используются при врезках на газопроводах без остановки транспортировки газа и при переизоляции трубопроводов. В докладе представлены новинки.

Перспективы по оборудованию: расширение размерного ряда по мощности, разработка специальных производительных и надежных нагревателей, повышение уровня автоматизации установок, удобства в эксплуатации, замена аналогичного импортного оборудования произведенным на предприятии ООО «НПП «ЭЛТЕРМ-С».

## Применение индукционного нагрева в нефтегазовой отрасли

*Д.И. Куртуа (ООО «КАТРАН»),  
Н.И. Петриди (ООО «Торговый дом «Курай»)*

Компания «КАТРАН», входящая в группу компаний ТД «КУРАЙ», является разработчиком и изготовителем оборудования для термообработки. Предоставляет услуги по термообработке сварных стыков, а также осуществляет обучение и аттестацию по специальности «оператор-термист».

Большая часть выпускаемой продукции компании предназначена для нефтегазового комплекса:

- компактные и надежные установки ППЧ-20-10 и Интерм-63 для предварительного и сопутствующего подогрева сварных стыков с уникальными индукторами;
- мощные и универсальные установки серии Интерм и ТП6 для термообработки сварных стыков как в условиях цеха, так и в условиях трассы;
- индукционные комплексы серии ППЧ, решающие задачи по нагреву перед нанесением изоляции, гибке труб, изготовлению крутоизогнутых отводов, вытяжки горловин и тройников;
- сталеплавильные и закалочные комплексы для валов и шестерней.

Продукция компании «КАТРАН» включена в 2015 г. в «Реестр вспомогательного оборудования и материалов для выполнения сварочных монтажных работ» ПАО «Газпром».



**СЕКЦИЯ «Е»**

**СТРОИТЕЛЬСТВО, РЕМОНТ И ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ  
ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА ГАЗА**

28–29 октября 2015 г.

## **Опыт применения микротурбин для энергоснабжения инфраструктуры магистральных газопроводов и новые решения на базе двигателей Стирлинга**

*А.А. Скороходов, С.Е. Гречкин (ООО «БПЦ Инжиниринг»)*

В докладе освещаются следующие проблемы:

1. Опыт применения микротурбинных электростанций ENEX на объектах инфраструктуры магистральных газопроводов России и Казахстана.
2. Обеспечение бесперебойного электроснабжения стратегически важных объектов.
3. Преимущества микротурбин на удаленных объектах.
4. Надежность работы в необслуживаемом режиме с возможностью дистанционного мониторинга и управления.
5. Новые решения для обеспечения надежного и экономичного энергоснабжения газотранспортной инфраструктуры за счет применения новых электростанций ENEX 7,5 на базе свободнопоршневого двигателя Стирлинга с единичной мощностью 7,5 кВт и гибкой возможностью масштабирования.

## **Технологии переизоляции труб в базовых и трассовых условиях**

*А.П. Сазонов, В.В. Лихацкий, А.В. Латышев  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В докладе представлена информация о применяемых в настоящее время противокоррозионных покрытиях на объектах ПАО «Газпром» для переизоляции магистрального газопровода в базовых и трассовых условиях.

Рассматриваются:

- отраслевые стандарты, содержащие основные требования к аттестации и применению покрытий в базовых и трассовых условиях;
- перспективные материалы и конструкции покрытий на их основе для защиты от коррозии соединительных деталей, монтажных узлов и запорной арматуры в базовых и трассовых условиях;
- перспективные антикоррозионные защитные покрытия для защиты от коррозии труб в базовых условиях и технологии их нанесения.

На основании проведенных разработок и испытаний свойств грунтовок, мастик, армирующих материалов и оберток разработаны конструкции покрытия горячего и холодного способа нанесения, применяемые в настоящее время в трассовых условиях при переизоляции магистрального газопровода.

## **Использование высокопрочных нитей для очистки наружной поверхности трубопровода**

*А.Н. Давыдов, Е.В. Надеждин, С.Л. Голофаст  
(ООО «НИИ Транснефть»)*

В настоящее время протяженность магистральных газопроводов России превышает 170 000 км, при этом более 30 % этих газопроводов эксплуатируются более 30 лет. Для сохранения целостности и надежности газопроводов требуется проведение различных видов ремонта. На настоящий момент применяются следующие виды капитального ремонта:

- с полной заменой участка трубопровода;
- с заменой гидроизоляционного покрытия с частичной заменой дефектных участков.

В современной практике для снятия гидроизоляции в большинстве случаев используют механические способы снятия. Наибольшее применение нашел резцовый механизм снятия, где в качестве рабочего инструмента выступает стальной резец, который вследствие плотного прижатия к металлу трубы и винтового движения относительно ее осей срезает изоляцию. Применение такого технологического решения имеет ряд недостатков.

Анализ существующих методов снятия гидроизоляционного покрытия позволяет сделать вывод, что механические способы снятия не обеспечивают безопасность процесса и достаточную степень очистки поверхности трубы. ООО «НИИ Транснефть» предложен новый способ удаления гидроизоляции, который заключается в замене резцов и щеток очистной машины на высокопрочные арамидные нити.

Применяемые в качестве рабочего инструмента нити испытывают существенные механические нагрузки. Поэтому были проведены исследования свойств арамидных нитей различных марок.

По результатам исследований были выбраны марки нитей, которые обеспечивают максимальный ресурс работы очистных инструментов при удалении старого изоляционного покрытия с поверхности трубы.

## **Определение оптимальных технологических параметров при изготовлении кривых холодного гнутья**

*А.Б. Арабей (ПАО «Газпром»),  
Ю.А. Маянц, Т.С. Есиев, А.В. Елфимов,  
К.В. Поликарпов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В настоящее время в РФ основными нормативными документами, регламентирующими изготовление отводов холодного гнутья, являются ГОСТ 24950-81 и СП 86.13330.2012 (СНиП III-42-80\*). В развитие указанных нормативных документов ООО «Газпром ВНИИГАЗ» по поручению с ПАО «Газпром» проводит разработку стандарта Газпром «Инструкция по изготовлению отводов холодного гнутья в заводских и трассовых условиях».

В докладе:

- рассмотрены вопросы создания математических моделей процесса изготовления холодногнутых отводов с учетом их технологических особенностей;
- предложена методика расчета основных технологических параметров холодной гибки;
- приведены результаты натурных и лабораторных испытаний, проведенных совместно с ОАО «Трубодеталь»;
- указаны пути увеличения угловгиба отводов.

## **Разработка алгоритмического обеспечения ультразвукового устройства для оценки скорости коррозии**

*С.В. Савченков, Е.А. Спиридович (АО «Гипрогазцентр»)*

По результатам проведенных ранее исследований была предложена концепция ультразвукового устройства для оценки скорости коррозии, имеющего широкие перспективы применения в системах дистанционного коррозионного мониторинга в качестве стационарного измерителя, а также изготовлены опытные образцы устройства.

Отличительными особенностями устройства являются включение в его состав ультразвуковых преобразователей различного типа, а также разработка и внедрение оригинального алгоритма, позволяющего не только с высокой точностью определять скорость развития коррозионного повреждения, но и идентифицировать его тип.

В основе вышеуказанного алгоритма – использование индивидуальных особенностей ультразвуковых преобразователей разного типа и оригинальные экспериментальные модели. Последние базируются на следующих данных, полученных в ходе специально выполненных исследований:

- значение амплитуды первого донного эхо-сигнала преобразователя совмещенного типа может быть использовано в качестве количественной характеристики при идентификации коррозионных повреждений;
- изучено влияние различных факторов на изменение амплитуды донного эхо-сигнала в режиме стационарного измерения (конструкция датчика не позволяет осуществлять перемещение преобразователей);
- получены экспериментальные зависимости, позволяющие оценить влияние различных факторов;
- разработаны модели, позволяющие выполнять оценку геометрических параметров локальных коррозионных дефектов, находящихся в акустическом поле преобразователя. С помощью статистических критериев выполнена оценка их адекватности.

## **Российская инновационная технология защиты труб и трубодеталей «ЗУБ-Композит»**

*А.В. Плавин (ООО «БТ СВАП»)*

В 2014 г. специалистами ООО «СВАП» разработана инновационная российская технология «ЗУБ-Композит» для защиты труб и деталей трубопроводов от механических разнонаправленных воздействий и нагрузок различного характера на стадиях транспортировки, строительства и эксплуатации.

Покрытие «ЗУБ-Композит» гарантированно обеспечивает защиту от механических повреждений антикоррозионного покрытия стальных труб, трубодеталей и стыковых соединений, защиту теплогидроизоляционного покрытия труб, полимерных и композитных труб и трубодеталей.

Эффективным техническим решением является применение покрытия для защиты трубопроводов, строительство которых осуществляется методом горизонтально-направленного бурения. Полное отсутствие рисков повреждения антикоррозионного покрытия труб, снижение толщины антикоррозионного покрытия, отсутствие необходимости в дорогостоящих защитных манжетах, экономия на пилотных трубах и прочее формируют высокий уровень экономической эффективности и позволяют сократить сроки строительства.

Покрытие «ЗУБ-Композит» может использоваться для футеровки трубопроводов при использовании навесных и систем баллаستирования (УЧК, УТК, УБО и т.д.)

Перспективной областью применения инновационного покрытия являются зоны сверхнормативных сближений трубопроводов с опасными производственными объектами и жилыми постройками. В данном аспекте «ЗУБ-Композит» успешно применяется в качестве компенсирующего мероприятия при разработке Специальных технических условий.

В настоящее время проведен полный комплекс испытаний покрытия «ЗУБ-Композит» в соответствии с Программой и Методикой, разработанными ООО «Газпром ВНИИГАЗ». Результаты испытаний показывают высокий уровень прочности покрытия. Например, энергия удара до повреждения антикоррозионного покрытия трубы при защите скальным листом составляет 50 Дж, энергия удара, которую выдерживает покрытие без повреждения АКП, составляет 5500 Дж.

В настоящее время ООО «СВАП» подготовлены типовые технические решения для применения покрытия «ЗУБ-Композит» с учетом различных условий строительства.

Применение инновационного покрытия позволит повысить уровень промышленной и экологической безопасности ЕСГ ПАО «Газпром».

## **Предельные состояния отводов холодного гнутья из труб с высокой деформационной способностью**

*И.П. Шабалов, В.Я. Великоднев, В.С. Каленский  
(ООО «Трубные инновационные технологии»)*

При строительстве магистральных трубопроводов на участках со сложным рельефом используются отводы холодного гнутья радиусом  $40D$ . Параметры отвода зависят в основном от типоразмера труб и технологических возможностей машин разных производителей, при этом механические, геометрические характеристики и характеристики надежности отвода контролируются уже после его изготовления. Освоение производства труб с высокой деформационной способностью создает возможность изготовления отводов холодного гнутья меньшего радиуса за счет допущения более высоких пластических деформаций металла. При этом важным становится распределение величин упругого и пластического деформирования металла при производстве гнба, наложение деформированных зон при нескольких шагах гнба и т.д. Для анализа этих факторов выполнено математическое моделирование деформации металла при производстве отвода из трубы с покрытием класса прочности K60 для зон АТР. Численная модель учитывает физические и геометрические нелинейности поведения оболочки трубы, а также образование гофров в зоне сжатия в момент изготовления отвода.

Результатом моделирования стало определение изменения геометрии в процессе изготовления отвода, размера зоны и уровня пластической деформации, уровня остаточных напряжений. Построены зависимости величин пластических деформаций, остаточных напряжений, а также размеров гофра от величины единичного гнба.

Результаты исследований позволяют определить критичные зоны и параметры, обосновать оптимальный технологический режим производства отводов. На основе полученных результатов моделирования определены предварительные выводы о возможности изготовления отводов холодного гнутья из труб с высокой деформационной способностью и условия их надежного применения в составе газопровода.

## **Расчетный анализ деформационного состояния отводов холодного гнутья в трубопроводе в процессе эксплуатации**

*В.Я. Великоднеев*

*(ООО «Трубные инновационные технологии»),*

*Р.В. Унесихин*

*(ООО «Центр экспертизы трубопроводных систем и инжиниринга»)*

Целью работы является анализ величины экстремальных внутренних усилий и деформаций, возникающих в кривых холодного гнутья на различных этапах эксплуатации под действием постоянных, временных и особых нагрузок (в частности, сейсмического воздействия для зон с повышенной сейсмичностью и активных тектонических разломов).

Для достижения этой цели была рассмотрена труба диаметром 1420 мм и толщиной 25,8 мм с классом прочности K60 ( $R_1^H = 590$  МПа и  $R_2^H = 480$  МПа). В качестве основной расчетной схемы принят Z-образный линейный трубопровод с поворотами от 3 до 18°, выполненными кривыми холодного гнутья с радиусами от 40 до 60 м.

Были рассмотрены варианты расчетной схемы с поворотами в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Для всех расчетных случаев варьировались такие параметры, как радиус и угол кривых холодного гнутья, а также различные типы вмещающих трубу грунтов (от песков до глинистых грунтов).

Анализ полученных результатов расчетов позволил установить зависимости между напряженно-деформированным состоянием в металле стенки кривых холодного гнутья и параметрами, которые варьировались при создании конечных типов расчетных схем.

Так была выявлена параболоподобная зависимость напряжения от угла поворота при фиксированном радиусе гибки с явно выраженным экстремумом в отличие от ожидаемого монотонного уменьшения напряжений при увеличении радиуса.

В работе приведено сравнение напряженно-деформированного состояния кривых холодного гнутья и кривых, полученных индукционным нагревом.

В заключение рассмотрено напряженно-деформированное состояние в трубопроводе с учетом остаточных продольных напряжений, характерных для отводов холодного гнутья.

## **О применении композитных бандажей для повышения прочности магистральных газопроводов на пересечениях активных тектонических разломов**

*О.В. Трифонов, М.А. Курганова, Е.С. Носова, В.П. Черный  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Проведен анализ эффективности усиления подземных стальных трубопроводов с помощью композитных бандажей при воздействии активных тектонических разломов. В разработанной трехмерной модели трубопровод рассматривается как упругопластическая стальная оболочка; бандаж представлен как ортотропная упругая оболочка; окружающий грунт моделируется как сплошная среда. Модель учитывает упругопластическое поведение грунта, контактное взаимодействие между грунтом и трубопроводом, значительные неупругие деформации, искажение формы сечения трубы и возможность местной потери устойчивости.

Эффективность применения композитных бандажей для усиления трубопровода проанализировано на основе критериев предельного состояния. Показано, что применение бандажей на высоконагруженных участках трубопровода в окрестности разлома приводит к существенному снижению напряжений и деформаций в стенке трубы. Исследовано влияние толщины бандажа, его положения по отношению к плоскости разлома и длины участка усиления на величину максимально допустимых смещений грунта в разломе.

## **Выбор методов ремонта газопроводов. Применяемость оборудования в зависимости от выбранного метода**

*А.С. Панов, В.В. Сусанин, А.И. Зенкин (ОАО «КрЭМЗ»)*

Стандартом ПАО «Газпром» (СТО Газпром 2-2.3-231–2008 «Правила производства работ при капитальном ремонте линейной части магистральных газопроводов») регламентированы основные методы ремонта магистральных газопроводов. Выбор методов ремонта зависит от состояния трубопровода и обосновывается данными диагностических обследований.

Для каждого из регламентированных СТО методов Кропоткинский машиностроительный завод производит необходимую оснастку, машины и приспособления, а также стационарные линии для очистки и изоляции трубопроводов, базы ремонта труб.

Особое внимание уделяется очистным машинам, т.к. качество восстановления антикоррозионного покрытия трубопровода в значительной мере зависит от качества очистки трубы от поврежденного изоляционного покрытия и подготовки поверхности под нанесение новой изоляции.

Установлено, что стоимость работ по переизоляции, включая земляные работы, очистку от старой изоляции и нанесение новой изоляции, составляет большую часть от сметной стоимости ремонта. Далее – это стоимость изоляционных материалов и лишь затем – стоимость очистных и изоляционных машин. С экономической точки зрения лучше применять более надежные и автоматизированные современные машины, позволяющие уменьшить влияние человеческого фактора.

В настоящее время на стадии завершения у завода существует проект передвижных баз по ремонту изоляции труб с нанесением экструдированного полиэтилена или полиуретанового покрытия. При условии размещения таких баз в непосредственной близости от объектов ремонта, мест хранения труб и т.д. видны очевидные положительные стороны их применения, такие как сокращение транспортных расходов, относительно невысокое энергопотребление, вариативность, возможность оперативного использования восстановленных труб при ремонте газопроводов.

## **Расчет прочностных характеристик теплоизоляционного слоя труб с балластным покрытием**

*Е.В. Петрусенко (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
С.В. Меликов (ООО «БТ СВАП»)*

В докладе представлена информация о разработке нормативных требований к тепловой изоляции труб и соединительных деталей, наносимой в заводских и трассовых условиях.

Трубы и соединительные детали, предназначенные для нанесения тепловой изоляции, должны иметь антикоррозионное покрытие.

Требования к теплоизоляционным материалам и покрытиям, предназначенным для тепловой изоляции, наносимой в трассовых условиях при строительстве и ремонте на объектах ПАО «Газпром» трубопроводов диаметром до 1420 мм с температурами эксплуатации от  $-40$  до  $+140$  °С, формализованы во Временных технических требованиях, утвержденных в 2014 г.

В заводских условиях тепловая изоляция состоит из теплоизоляционного слоя (пенополиуретан в защитной оболочке из полиэтилена) или оцинкованной стали. Всего по состоянию на 01.09.2015 г. девять заводов прошли аттестацию и имеют технические условия на трубную продукцию с тепловой изоляцией, согласованные ПАО «Газпром».

Для оценки возможности нанесения на трубы с антикоррозионным покрытием и тепловой изоляцией балластного покрытия был произведен расчет прочностных характеристик теплоизоляционного слоя труб с балластным покрытием. В расчете оценивался коэффициент запаса прочности теплоизоляционного слоя для труб различных диаметров и различных схем нагружения. В частности, рассмотрены возможные варианты подъема труб с покрытием и возникающие при этом напряжения, определены наиболее опасные зоны напряжения при различных способах строповки конструкции, контроль которых позволит обеспечить безопасное обращение с трубами на всех этапах производства и строительства.

## **Новые возможности и подходы при проектировании и изготовлении мобильных технологических комплексов в интересах ПАО «Газпром»**

*А.В. Герасимов, А.А. Макаров (ООО «ТехПром»)*

В докладе приведены инновационные подходы в проектировании и изготовлении подвижных мастерских, лабораторий, вахтовых автобусов и других мобильных технических средств, обеспечивающих все возрастающие по сложности технические задачи.

Сформулирован ряд конкретных, разработанных с учетом требований ПАО «Газпром» нормативов к мобильным техническим средствам и предлагаются практические пути их применения.

Представлены результаты исследований особенностей функционирования всех типов подвижных технологических комплексов в полевых условиях.

Обосновывается необходимость научного подхода при проектировании и производстве мобильных мастерских, лабораторий и другой техники, обеспечивающих максимальную эффективность штатного технологического оборудования в полевых условиях.

Приводятся разработки ООО «ТехПром», в частности инновационные технические решения и используемые материалы, примененные при проектировании и изготовлении подвижных технологических комплексов, поставленных в ряд дочерних предприятий ПАО «Газпром».

Основные положения доклада обосновывают новый подход к вопросам разработки, производства и использования мобильных технологических составляющих (мастерских, лабораторий и т.п.) высокого технического уровня, обеспечивающего рациональную эксплуатацию данных специализированных машин, эффективное использование имеющегося технологического оборудования, разумное финансовое обеспечение данного вопроса.

## **Проект производства разрезных тройников в России**

*О.В. Кондратьева (ООО «ТДВ Евразия»)*

Вопросам импортозамещения ПАО «Газпром» уделяет особое внимание и проводит систематическую работу по организации изготовления на отечественных предприятиях импортозамещающей продукции. В рамках реализации программы импортозамещения совместно с ООО «Газпром ВНИИГАЗ» компанией «Т.Д. Вильямсон» в 2015 г. локализовано производство разрезных тройников нового поколения LOCK-O-RING® PLUS на территории Российской Федерации. Производство входит в состав ООО «ТДВ Евразия». К 2017 г. все типоразмеры тройников диаметром до Ду 1400 будут производиться на российском заводе, при этом 100 % расходных материалов и комплектующих компонентов будут замещены компонентами российского производства.

В докладе детально рассматриваются все этапы организации производства в России, представлена организационная структура производства и степень локализации с 2015 по 2017 гг. с разбивкой по годам.

## **Новые подходы к сертификации продукции как точка роста эффективности предприятий ПАО «Газпром»**

*Е.Г. Чекалев (ООО «Сервисная Компания ИНТРА»)*

В условиях санкций и нестабильной макроэкономической конъюнктуры остро встает вопрос технологической независимости российских компаний. ПАО «Газпром» как один из важнейших элементов российской экономики обязан иметь возможность оперативно переключаться с иностранных поставщиков услуг и товаров на российских. Одним из существенных препятствий на пути к этому является процедура сертификации новых видов продукции.

Принятая в ПАО «Газпром» данная процедура подразумевает наличие внутренних технических регламентов. При этом новая продукция в силу своей новизны не всегда описана в стандартах организации и вынуждена проходить очень долгий путь от создания внутренней нормативной базы ПАО «Газпром» до проведения опытных работ. Такой путь может занимать годы.

Одним из путей преодоления бюрократического барьера и ускорения сертификации является опробованная на других крупнейших компаниях нефтегазового сектора России («Роснефть», «Лукойл», «Башнефть», «Татнефть») процедура опытно-промышленной эксплуатации.

В докладе содержится описание основных этапов сертификации, способы обеспечения безопасной эксплуатации продукции, прошедшей обновленную схему сертификации, опыт применения указанных процедур.

Предлагаемая схема сертификации позволяет ПАО «Газпром» достичь следующих важных результатов:

- мгновенной экономии средств за счет перехода на российские комплектующие;
- технологической независимости от иностранных поставщиков;
- высокой скорости реагирования на вызовы рынка;
- гибкости в принятии решений.

## **Совершенствование порядка применения внутритрубных поршней на магистральных газопроводах**

*С.В. Карпов, А.С. Алихашкин, Д.И. Ширяпов,  
А.Ю. Ракитин, А.В. Елфимов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
К.А. Фазлетдинов, Э.К. Шакиров (ЦОДТ «Семигорье»)*

В процессе выполнения предпусковых операций на магистральных газопроводах применяется широкая номенклатура внутритрубных устройств, предназначенных для очистки полости, разделения жидкой и газообразной сред при заполнении участков линейной части магистральных газопроводов перед гидравлическими испытаниями и удалении испытательной среды после испытаний, удаления и распределения остаточной влаги по внутренней поверхности труб в процессе осушки, оценки геометрии труб построенного участка при помощи калибровочных дисков.

Унификация технических требований к материалам и конструкции внутритрубных устройств позволяет повысить эффективность их использования и усовершенствовать подход к выбору конкретных типов и конструкций внутритрубных устройств для выполнения тех или иных технологических операций, а также снизить риск их застревания, неполного удаления загрязнений, повреждения внутреннего гладкостного покрытия труб газопроводов либо разрушения поршней в процессе их пропуска.

На основании вышеизложенного ООО «Газпром ВНИИГАЗ» совместно с ЦОДТ «Семигорье» разработаны технические требования к поршням для очистки и осушки полости магистральных газопроводов, а также рекомендации по применению поршней при строительстве и ремонте линейной части магистральных газопроводов ПАО «Газпром».

В ходе разработки технических требований к поршням были проанализированы физико-химические свойства полиуретанов, применяемых для изготовления дисков и манжет, устанавливаемых на поршни, в результате чего были разработаны требования к физико-химическим свойствам к комплектующим изделиям. Кроме того, установлены требования к поршням различных типов, конструкций и модификаций по максимальной скорости движения, минимальному пробегу поршней до недопустимого износа и рабочему перепаду давления на поршнях при их движении.

Рекомендации по применению поршней разработаны в развитие технических требований к ним и учитывают различие условий проведения предпусковых операций и их этапность.

## **Применение текстильных материалов на объектах газотранспортного строительства. Этапы и перспективы развития**

*Д.А. Комаров, М.Г. Мухамеджанов  
(ЗАО «Газпром СтройТЭК Салават»)*

Опыт применения текстильных материалов при строительстве газотранспортных систем в России на сегодняшний день имеет более чем 30-летнюю историю. К настоящему времени текстильные материалы активно применяются практически во всех условиях строительства трубопроводов, причем объем от общей доли применяемых материалов постоянно растет.

Основными областями применения текстильных материалов являются:

- балластировка трубопроводов;
- противозэрозийные системы;
- дорожные и площадочные основания.

В начальный период внедрения текстильных материалов основные технические требования формировались на основе уже существующих материалов, применяемых в других отраслях. Проведенный в 1980-х гг. широкий комплекс исследований ведущими институтами позволил создать новые на тот момент материалы специально для нефтегазовой отрасли.

На сегодняшний день основными характеристиками текстильных материалов являются прочность, относительное удлинение при разрыве, климатическая и химическая устойчивость. Действующие нормативные требования позволяют выпускать долговечную и надежную продукцию.

До недавнего времени для изготовления текстильных материалов применялось в основном импортное сырье. В современных экономических условиях возникла тенденция к развитию отечественных производств.

Проведенный анализ показал, что наиболее эффективным способом организации производства изделий из текстильных материалов, обеспечивающим максимальное качество продукции, является организация полного цикла производства – от нити до готового изделия.

ЗАО «Газпром СтройТЭК Салават», являясь производителем и поставщиком широкого спектра специализированной продукции из текстильных материалов, проводит постоянную работу по вовлечению в производство материалов отечественного производства.

## **Нормативные аспекты контроля качества осушки полости магистральных газопроводов**

*Д.И. Ширяпов, С.В. Карпов, А.С. Алихашкин, А.В. Елфимов,  
А.Ю. Ракитин (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Одним из важнейших критериев качества выполненных на магистральных газопроводах предпусковых операций является состояние полости трубопроводов, технологических сосудов и аппаратов. Под этим понимается как отсутствие загрязнений, посторонних предметов, так и низкое влагосодержание среды, заполняющей полость трубопроводов и оборудования.

Разработка требований, направленных на унификацию технологии осушки применительно к специфическим природным и инженерно-геологическим условиям, характерным для различных участков магистральных газопроводов, позволяет оптимизировать процесс их подготовки к транспортированию природного газа и повысить его эффективность, сократив тем самым срок ввода в эксплуатацию построенных или отремонтированных объектов магистральных газопроводов.

В связи с этим ООО «Газпром ВНИИГАЗ» разработан порядок проведения осушки магистральных газопроводов в различных природно-климатических условиях, в котором устанавливаются требования как к порядку проведения осушки полости объектов магистральных газопроводов, так и к мероприятиям, направленным на повышение ее эффективности и контроль качества. Указанные мероприятия учитывают условия проведения работ, характеристики применяемого оборудования.

Особое внимание обращается на эффективность выполнения контрольных процедур при проведении осушки, в том числе указаны точки на трубопроводе, в которых необходимо производить отбор проб, установлены меры по исключению влияния внешних факторов на корректность измерений. Кроме того, установлена продолжительность выдержки осушенного участка трубопровода и регламентирована процедура контроля отсутствия остаточной влаги в полости осушенного газопровода. Установлены диапазоны давлений, при которых необходимо выполнять выдержку осушенных при помощи вакуумирования трубопроводов с целью проверки на герметичность, а также при заключительном контроле качества осушки. Приведены необходимые графики, иллюстрирующие физическую сущность процесса осушки, а также расчетные зависимости для вычисления необходимых технологических параметров в процессе осушки.

## **Способы автоматизации технологии изоляции сварных стыков труб в трассовых условиях**

*Е.В. Петрусенко, Н.И. Савостина  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Технические требования к покрытиям для изоляции сварных соединений трубопроводов изложены в СТО Газпром 9.1-017-2012 «Наружные защитные покрытия для кольцевых сварных соединений трубопроводов. Технические требования» и предусматривают возможность применения различных покрытий в зависимости от требований условий эксплуатации трубопроводов. При этом основным типом покрытий, применяемым для противокоррозионной защиты сварных стыков газопроводов, являются термоусаживающиеся материалы (ТУМ) – манжеты или муфты.

В процессе нанесения на сварной стык ТУМ, предназначенных для эксплуатации с температурой до +60 °С, необходимо обеспечить дробеструйную очистку и нагрев металла зоны сварного стыка до температуры не ниже +90 °С.

Рассмотрены рекомендации по температуре нагрева для всех ТУМ, поставляемых по техническим условиям, согласованным с ПАО «Газпром». Реализация технологии нанесения ТУМ в трассовых условиях является трудоемкой задачей, а нарушение технологии приводит к значительному снижению качества противокоррозионной защиты сварного соединения.

Для повышения эффективности изоляции сварных стыков рассмотрены различные предложения по автоматизации технологии работ в трассовых условиях, в числе которых:

- индукционный нагрев зоны сварного соединения;
- применение оборудования по инфракрасному нагреву покрытия;
- применение мобильных установок по экструдированию покрытий;
- применение дробеметной обработки.

## **Применение защитных и ремонтно-восстановительных покрытий по технологии газотермического напыления и наплавки на предприятиях нефтегазовой отрасли**

*А.В. Калачихин (ЗАО «Плакарт»)*

ЗАО «Плакарт» – ведущая российская научно-производственная организация, разрабатывающая и применяющая технологии газотермического напыления (ГТН) и наплавки для защиты от коррозии и износа исходя из условий эксплуатации оборудования для добычи, транспорта, хранения и переработки нефти и газа.

Компания помогает своим партнерам:

- увеличить ресурс работы деталей за счет улучшения их эксплуатационных свойств;
- повысить надежность изделий, снизить себестоимость их изготовления и обслуживания;
- снизить ресурсоемкость и энергоемкость изделий;
- снизить затраты на ремонт и закупку дорогостоящих, в том числе импортных комплектующих;
- сократить сроки простоя оборудования в ремонте;
- заменить дорогостоящие конструкционные материалы на более дешевые и легче обрабатываемые с покрытиями.

Шиберы и седла шиберных задвижек с напыленными покрытиями по программе импортозамещения успешно заменяют в фонтанной аппаратуре импортные аналоги с 2007 г. За этот период на Астраханское ГКМ поставлено порядка 150 шиберов, 300 седел задвижки, 250 колец седла с упрочненными уплотнительными поверхностями карбидом вольфрама, нанесенным методом высокоскоростного газотермического напыления.

Случаев выхода из строя не зафиксировано.

Одной из наиболее актуальных проблем импортозамещения является изготовление шаровых кранов с уплотнением «металл по металлу». ЗАО «Плакарт» владеет технологиями нанесения и уплотнения покрытий на основе карбида вольфрама, стеллита, инконели, никель-базированных материалов.

Опыт тиражирования материалов и технологий ОПК в компрессоростроении:

- изготовление штоков и плунжеров с упрочняющими покрытиями (штоки компрессора 5Г600 отработали более 20 000 ч на Омском НПЗ);
- изготовление деталей проточной части с гладкостными антиадгезионными покрытиями;
- применение уплотняющих прирабатываемых покрытий;
- восстановление и упрочнение посадочных мест роторов, валов, подшипников;
- замена гальванических покрытий;
- защита от коррозии в присутствии сероводорода, углекислого газа;
- защита от эрозии.

Использование аддитивной технологии позволяет изготавливать детали сложной формы с внутренними криволинейными отверстиями, не доступными для изготовления другими методами обработки. Прямое изготовление с САПР и отсутствие множества переустановок детали на станке позволяют получить микронную точность изделия.

Система защиты «Спрамет» является зарегистрированной торговой маркой ЗАО «Плакарт» и представляет собой многослойное покрытие, состоящее из термически нанесенного металла на основе сплавов Al, Mg, Zn; пропитки; грунтовки и финишного покрытия. Система защиты «Спрамет» является экономически обоснованной альтернативой лакокрасочным покрытиям и обладает значительным преимуществом в термо- и механических свойствах, а также в сроке эксплуатации. За счет протекторных свойств защищает поверхность металлоконструкции даже при механическом повреждении покрытия.

Технология газотермического напыления данной системы защиты не приводит к нагреву металлоконструкции более 150 °С, что не приводит к термическим поводкам, показатель адгезии более 50 МПа.

С 2010–2014 г. систему защиты «Спрамет 114» начали наносить на детали выхлопного тракта (выхлопные шахты ГПА, камеры шумоглушения ГПА, оголовки факелов, дымогарные трубы) в 8 газотранспортных и газодобывающих обществах Группы «Газпром».

Успешный опыт применения металлизационных покрытий на Астраханском газовом комплексе был отмечен Премией ОАО «Газпром» в области науки и техники за 2012 г.

Департаментом капитального ремонта ПАО «Газпром» продлен срок действия Экспертного заключения о готовности ЗАО «Плакарт» к выполнению работ по техническому обслуживанию и ремонту объектов ЕСГ, а также от ООО «Газпром газнадзор» получено Заключение об оргтехготовности организации к ведению работ.

## **Разработка ингибированных полимерных композиций с целью предотвращения риска КРН на магистральных газопроводах**

*А.Б. Арабей (ПАО «Газпром»), А.И. Маршаков, В.Э. Игнатенко,  
М.А. Петрунин, Ю.И. Кузнецов, Во Тхань Тьен (ИФХЭ РАН),  
Р.И. Богданов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Статистика инцидентов в газотранспортной системе ПАО «Газпром» и мировой опыт эксплуатации газопроводов высокого давления свидетельствуют о том, что проблема предупреждения коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) газопроводов остается актуальной. В этой связи наряду с проведением мероприятий по улучшению качества ремонтных работ перспективной представляется задача создания защитных покрытий, которые должны не только изолировать металл от воздействия агрессивной среды, но и способствовать предупреждению повторного развития дефектов КРН.

В докладе освещаются итоги разработки способа модификации защитного покрытия, который обеспечит торможение процесса КРН трубной стали при сохранении высокой адгезии, водостойкости и стойкости к катодному отслаиванию покрытия.

В работе модифицировали битумно-полимерное покрытие, в состав грунтовки которого вводили ингибирующие композиции (ИК) на основе азотсодержащих соединений, карбоксилатов, полимолибденовых кислот и кремнийорганических соединений в количестве от 1 до 4 вес.%. Выполнены сравнительные лабораторные испытания на адгезионную прочность, водостойкость, стойкость к катодному отслаиванию защитного покрытия, применяемого при изоляции газопроводов в трассовых условиях, и экспериментального (модифицированного) защитного покрытия. Отдельно исследовано влияние ИК на скорость роста уже существующей трещины при статической нагрузке образца, а также на трещиностойкость стали при медленном растяжении образцов. Испытания проводились в модельных грунтовых электролитах с рН = 5,5 и 7,0, не содержащих и содержащих сероводород.

По результатам коррозионно-механических испытаний изученные ИК ранжированы по их способности уменьшать время до образования микротрещин на поверхности стали и тормозить рост уже существующей трещины. Показано, что наилучшие адгезионные характеристики в покрытии показывает композиция, в состав которой входит ингибитор ИФХАН-29-АЧ и кремнийорганические соединения. По результатам комплексных лабораторных исследований ингибированное битумно-полимерное покрытие рекомендовано к опытно-промышленным испытаниям.

## **Критерии идентификации геомагнитных источников блуждающих токов**

*А.А. Зубков (ООО «Стройгазмонтаж»),  
Р.В. Агиней (АО «Гипрогазцентр»)*

Геомагнитно-индуцированный ток – изменяющийся во времени электрический ток, образующийся в грунте, а также в подземных стальных трубопроводах и других протяженных в пространстве проводниках под влиянием вариаций геомагнитного поля и связанных с этим изменений электрического поля на поверхности Земли. Наличие геомагнитно-индуцированного тока приводит к изменениям во времени потенциала поляризации трубопроводов. Этот эффект наблюдался на трубопроводах, расположенных в Европе, Северной Америке, Австралии. Воздействии геомагнитно-индуцированного тока на трубопровод в ряде случаев может приводить к снижению надежности его эксплуатации и к появлению помех, затрудняющих измерение потенциала поляризации и не позволяющих точно определить степень защищенности трубопровода средствами электрохимической защиты. Для отечественной практики процессы возникновения геомагнитно-индуцированных токов в подземных трубопроводах являются сравнительно новыми и малоизученными, т.к. проявляются, преимущественно, на линейной части магистральных газопроводов с высоким переходным сопротивлением изоляционного покрытия, гальванически развязанной от других ниток. При исследовании блуждающих токов крайне важно выявить их принадлежность к геомагнитной природе для правильного принятия решений при последующей эксплуатации.

В научно-технической литературе приводятся сведения об идентификации неклассических геомагнитных источников блуждающего тока по признакам единства источника блуждающего тока, отсутствия точек стекания-натекания тока на границах участка, отсутствия в разности потенциалов труба-земля переменной составляющей с частотами, кратными промышленной частоте сети переменного тока, однако этих критериев недостаточно для достоверной идентификации источника.

В результате проведенных исследований на трубопроводе, подверженном влиянию блуждающих токов геомагнитной природы, разработаны критерии более точной идентификации таких источников, включая результаты анализа зависимости экстремумов поляризации трубопровода от скорости нарастания разности потенциалов, частотного спектра изменения потенциала и других признаков.

## **О пересмотре требований к контролю поляризационного потенциала подземных стальных сооружений**

*Н.А. Петров, Н.Н. Глазов, Д.Н. Запевалов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
А.В. Гончаров (ООО «НИИ Транснефть»),  
М.А. Башаев (АО «ВНИИСТ»)*

Рассмотрены существующие требования и практика применения поляризационного потенциала в качестве нормативного показателя для оценки электрохимической защиты от коррозии подземных сооружений. Выполнен анализ способов измерений поляризационного потенциала, применяемых приборов и оборудования, основных методических и инструментальных погрешностей при выполнении измерений. Ограничения методов измерений и применяемых измерительных приборов, ошибки при практическом выполнении обследований существенно ограничивают информативность и достоверность результатов и основанных на них выводов о состоянии систем электрохимической защиты. Оценка состояния систем защиты от коррозии новых магистральных трубопроводов с качественным защитным покрытием и минимальным количеством сквозных дефектов может осуществляться без контроля поляризационного потенциала. Вместе с тем контроль поляризационного потенциала в местах формирования и развития коррозионных дефектов, выполняемый специализированными обследующими организациями, позволяет оценить интенсивность и опасность коррозионных воздействий и обоснованно и рационально скорректировать решения по защите от коррозии.

Накопившиеся противоречия требуют пересмотра практики проведения измерений поляризационного потенциала. Обоснована необходимость корректировки нормативных требований для оценки и контроля систем электрохимической защиты магистральных трубопроводов, сформированы предложения по внесению изменений в документы корпоративного и федерального уровня.

## **Анализ методов лабораторных измерений поляризационного потенциала в модельных средах**

*И.Ю. Копьев, А.М. Пушкарев, Н.Н. Глазов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Контроль эффективности системы противокоррозионной защиты, в частности измерение значений поляризационных потенциалов, имеет большое значение для обеспечения надежности эксплуатации подземных сооружений. Одним из методов измерения поляризационного потенциала подземного сооружения является измерение потенциала вспомогательного электрода при отключении тока его поляризации. Однако этот метод может иметь определенные ограничения, что может привести к некорректной оценке защищенности сооружения при проведении электрометрии в трассовых условиях.

В докладе представлены результаты лабораторных исследований зависимости измеряемой величины поляризационного потенциала от различных сочетаний величины удельного сопротивления грунта и плотности защитного тока, а также методов измерений и индивидуальных особенностей различных измерительных приборов.

Анализ результатов исследований показал, что при удельном сопротивлении грунта более 200–300 Ом·м (и/или наличия на вспомогательном электроде катодных осадков) и плотности тока поляризации более 0,5 мА/см<sup>2</sup> результаты измерений поляризационных потенциалов методом отключения вспомогательного электрода могут значительно отличаться от реальных значений в зависимости от конкретного применяемого измерительного оборудования.

## **Новые разработки оборудования противокоррозионной защиты компании «Химсервис»**

*Д.В. Савенков, В.В. Першуков (ЗАО «Химсервис»)*

Компания «Химсервис», являясь одним из лидеров в области производства оборудования для противокоррозионной защиты подземных сооружений, ведет постоянную работу по совершенствованию выпускаемой продукции и разработке новых видов оборудования.

В докладе представлена информация о новых разработках компании «Химсервис» в области защиты трубопроводов от коррозии. Дано описание новых модификаций контрольно-измерительных пунктов со встроенными блоками совместной защиты, датчиков скорости коррозии ДСК-1 «Менделеевец» и счетчиков времени наработки СВНЭ-2.

Представлены новые разновидности широко известных анодных заземлителей «Менделеевец», которые выпускаются уже более 20 лет. Описаны преимущества и особенности применения малорастворимых заземлителей «Менделеевец»-МР и протяженных заземлителей «Менделеевец»-МП, изготовленных на базе смешанных металлооксидов. Предложены оптимальные варианты использования новых анодных заземлителей в наиболее «проблемных» областях систем противокоррозионной защиты трубопроводов.

## Измеритель потенциалов «ДИАБАЗ» производства ЗАО «Катодъ»

*М.Ф. Хакамов (ЗАО «Катодъ»)*

Качественная диагностика состояния противокоррозионной защиты является одним из действенных инструментов предотвращения аварий на объектах нефтегазовой инфраструктуры, вызванных разрушительным действием коррозии. ЗАО «Катодъ» – производитель высокоэффективных систем электрохимзащиты – предлагает новый диагностический инструмент – измеритель потенциалов электрометрический «ДИАБАЗ».

Прибор предназначен для определения потенциалов «сооружение – земля», характеризующих уровень защищенности объектов подземной инфраструктуры средствами ЭХЗ и состояния изоляционного покрытия этих объектов. Измерение потенциалов предусмотрено в вариантах выносного электрода и по т.н. «интенсивной» технологии с прерыванием тока катодной защиты.

Отличительными особенностями «ДИАБАЗа» являются малый вес, низкое энергопотребление, простота интерфейса, сервисные решения, наличие канала низкочастотного осциллографа, встроенная GPS-система.

Данный канал позволяет:

- диагностировать техническое состояние станций катодной защиты (диодных и тиристорных преобразователей);
- оценивать техническое состояние дорожных переходов и электроизолирующих вставок;
- оценивать влияние секущих трубопроводов и ЛЭП;
- принимать меры по обеспечению необходимого качества измерений на переменном токе.

Электрометрическое обследование производится в одно- и трехэлектродном вариантах. Для синхронизации работы прерывателей и измерителя при «интенсивных измерениях» реализовано несколько математических алгоритмов и GPS-тактирование. Измерительная установка включает трехканальное (с общей землей – GND) микропроцессорное измерительно-регистрирующее устройство, медно-сульфатные неполяризующиеся электроды и катушку с проводом для обеспечения постоянного контакта с сооружением. При трехэлектродных измерениях «Диабазом» нормальными являются положительные значения боковых градиентов, тогда как отрицательные значения могут указывать на стекание тока с трубопровода и коррозионную опасность дефекта.

«ДИАБАЗ» позволяет производить площадные съемки потенциалов при обследованиях промышленных площадок компрессорных станций, хранилищ нефти и газа, изучении коррозионно-опасных участков трубопроводов.

## **Испытания анодных заземлителей из малорастворимого сплава ЧС 15 на опытно-экспериментальной базе ООО «Газпром ВНИИГАЗ»**

*А.М. Пушкарёв, Н.Н. Глазов, И.Ю. Копьев  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Анодное заземление установок катодной защиты является одним из основных элементов системы электрохимической защиты, и от его надежности зависит стабильность функционирования противокоррозионной защиты подземных трубопроводов в целом. В связи с этим оценка надежности анодных заземлителей является важной задачей, для решения которой необходимо проведение ресурсных испытаний.

В докладе представлены результаты испытаний готовых изделий анодных заземлителей из коррозионностойкого железокремнистого сплава ЧС 15 по ГОСТ 7769-82.

Первоначально в лабораторных условиях проводились испытания фрагментов анодных заземлителей в водном растворе NaCl, в ходе которых наблюдали влияние содержания хрома на анодное растворение ферросицида. Испытания фрагментов изделий позволили рассчитать электрохимический эквивалент для каждого образца.

Для оценки надежности готовых изделий в целом (в том числе контактного узла и токопроводящего провода) проведены стендовые испытания в течение одного года при различной плотности анодного тока.

Анализ результатов испытаний позволил осуществить:

- проверку электрохимического эквивалента на соответствие требованиям ТУ производителя;
- оценку надежности контактного узла и токопроводящего провода;
- оценку равномерности растворения сплава анодного заземлителя.

## **СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ**

28–29 октября 2015 г.

## **О формировании критериальной основы оценки опасности коррозионных угроз под действием переменного тока**

*Ю.Г. Петрова (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

С развитием сетей трубопроводного транспорта и линий электропередач высокого напряжения увеличивается количество участков, на которых магистральные трубопроводы (МТ) и высоковольтные линии электропередачи (ВЛ) расположены на достаточно близком расстоянии (параллельное следование, пересечения, сближения). В результате индукционных процессов в цепи МТ–окружающий грунт возникает переменный ток. В зависимости от ряда параметров (взаиморасположение, качество изоляции трубопровода, эксплуатационные параметры ВЛ, удельное электрическое сопротивление грунта и т.п.) величина индуцированного тока может достигать значений, представляющих опасность для развития коррозионных процессов на трубопроводе.

Из литературы известно, что причина коррозионного действия переменного тока заключается в асимметрии катодных и анодных характеристик стали, приводящая к появлению постоянной составляющей тока и смещению потенциала трубопровода. На основании фундаментальных исследований и экспериментов были сформулированы два критерия – по плотности переменного тока, которая не должна превышать  $10 \text{ А/м}^2$ , и смещению потенциала – не более 10 мВ. Для практического применения также разработаны несколько дополнительных критериев: переменное напряжение «труба-земля», соотношение плотностей переменного и постоянного токов, критическая протяженность параллельного следования МТ и ВЛ. Прямым критерием является непосредственно измеренная скорость коррозии (глубинный показатель), которая не должна превышать приемлемых значений порядка 0,1 мм/год. В отсутствие достоверных данных по скорости коррозии следует пользоваться остальными критериями.

С помощью оптимального проектирования трассы трубопровода вблизи высоковольтных линий можно существенно снизить величину индуцируемого в трубопроводе тока. На эксплуатируемом вблизи высоковольтных линий трубопроводах необходимо проводить оценку опасности проявления коррозионных процессов. Применение нескольких критериев позволяет с большей достоверностью оценить коррозионное воздействие переменного тока. В случае невыполнения критериев следует применять меры по снижению влияния переменных токов.

## **Моделирование условий коррозионного воздействия морской среды на трубопроводную сталь**

*С.Н. Ашарин, Д.С. Сирота, А.Н. Улихин, Д.Н. Запезалов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Исследовано коррозионно-электрохимическое поведение стали Ст3 в модельной морской среде при воздействии четырех факторов: температуры, скорости потока, солёности морской воды и растягивающих напряжений. Сконструирована и опробована установка для исследования электрохимических свойств стали в движущихся средах с одновременным наложением нагрузки (в области упругой деформации) на рабочий электрод. Выявлена значимость факторов, влияющих на скорость коррозии, стационарный потенциал и потенциал коррозии стали Ст3 в модельной морской воде.

Получены результаты, свидетельствующие об интенсификации протекания коррозионных процессов при максимальном значении фактора скорости движения среды при прочих равных условиях. Установлено, что напряжённое состояние стали Ст3 приводит к разблагораживанию потенциала коррозии, интенсифицируя тем самым протекание коррозионных процессов на поверхности стали, и увеличению скорости коррозии.

## Покрытия соединительных деталей

*А.В. Латышев, В.В. Лихацкий, А.П. Сазонов, Н.И. Савостина  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

В докладе представлена информация о применяемых в настоящее время на объектах ПАО «Газпром» наружных защитных покрытиях на основе терморезактивных материалов (на полиуретановой и/или эпоксидной основе, порошковые оплаваемые эпоксидные композиции и т.п.) для соединительных деталей.

Представлен стандарт ПАО «Газпром» СТО Газпром 9.1-018-2012, устанавливающий необходимый уровень технических требований к изготавливаемым терморезактивным материалам и покрытиям на их основе, применяемым для защиты от коррозии соединительных деталей в зависимости от условий их эксплуатации.

Данный стандарт регламентирует максимальную толщину защитного покрытия соединительных деталей, которая не должна превышать 4 мм. Ограничение максимальной толщины необходимо для успешного применения защитных покрытий в условиях Крайнего Севера, где может наблюдаться растрескивание покрытий на основе терморезактивных материалов.

В лаборатории защитных покрытий проведена экспертиза технических условий на новые защитные покрытия соединительных деталей, выполнены приемочные испытания изоляционных материалов и аттестация технологий их нанесения.

Отмечено, что защитные свойства и срок службы покрытий соединительных деталей определяются не только характеристиками исходных материалов, но в значительной степени зависят от соблюдения технологических требований при их нанесении и условий эксплуатации трубопроводов. Свойства терморезактивных материалов и покрытий на их основе, а также технологии нанесения определяют область их применения для защиты газопроводов от коррозии в различных почвенно-климатических условиях и максимально допустимую температуру эксплуатации.

## Ремонт заводского полиэтиленового покрытия труб

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

В докладе представлена информация о технологии ремонта мест повреждений заводского полиэтиленового (ПЭ) покрытия труб в заводских и трассовых условиях.

Нанесение на трубы трехслойных ПЭ покрытий – процесс высокоавтоматизированный, оснащен многоуровневой системой диагностики и поиска неисправностей, что минимизирует вероятность появления брака. Однако полностью избежать случаев несоответствия качества продукции невозможно.

Опыт крупных российских заводов – производителей труб с ПЭ покрытием показывает, что количество забракованных труб с покрытием (подлежащих переизоляции) составляет в среднем 0,3–0,5 %, а количество труб, подлежащих локальному ремонту, – 0,5–1,5 % от общего количества заизолированных труб.

Рассмотрен базовый руководящий документ при проведении ремонта наружного ПЭ покрытия труб – РД 1390-001-2001.

Проанализированы следующие технологии ремонта ПЭ покрытия:

- незначительных повреждений покрытия;
- сквозных и значительных по площади повреждений до слоя эпоксидной грунтовки;
- отслоений адгезионного и ПЭ слоев покрытия и расслоев в ПЭ слое;
- путем повторного нанесения слоев адгезива и ПЭ;
- значительных по площади несквозных повреждений ПЭ слоя покрытия.

Показано, что основными причинами несоответствия качества ремонта ПЭ покрытия являются ошибки при выборе ремонтных материалов и нарушение технологии их нанесения, в числе которых нарушение температурных режимов является самым распространенным.

## Оптимальное регулирование режимов работы средств электрохимической защиты объектов транспорта газа

*С.А. Никулин, Е.Л. Карнавский*  
(АО «Гипрогазцентр»)

В настоящее время одной из актуальных задач, стоящих перед эксплуатирующими организациями магистрального транспорта газа, является коррозионный мониторинг. Он входит в состав системы противокоррозионной защиты и является частью системы управления техническим состоянием и целостностью ГТС и системы подготовки принятия решений. Требования к коррозионному мониторингу изложены в СТО Газпром 9.4-023-2013 «Мониторинг и прогноз коррозионного состояния объектов и оборудования. Система сбора, обработки и анализа данных. Основные требования».

Перед системой коррозионного мониторинга ставятся задачи сбора, накопления и расчетно-аналитической обработки информации о коррозионном состоянии защищаемого объекта и оборудования противокоррозионной защиты.

Для решения расчетно-аналитической задачи оптимального регулирования режимов работы средств ЭХЗ объектов транспорта газа в АО «Гипрогазцентр» был проведен ряд научно-исследовательских работ, результатом которых явились совершенствование моделей распределения защитных потенциалов объектов транспорта газа, разработка основных алгоритмов оптимизации, а также процедур решения многокритериальной задачи нахождения оптимальных параметров с применением принципов структурной оптимизации.

Для решения вопроса автоматизации процесса расчета требуемых оптимальных режимов СКЗ по поручению Департамента по транспорту, подземному хранению и использованию газа ПАО «Газпром» специалистами АО «Гипрогазцентр» совместно с ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» был проведен ряд экспериментальных работ на действующих объектах газотранспортной системы: участке магистрального газопровода и промышленной площадке компрессорной станции.

Результатом работ явились предложения по изменению режимов работы средств ЭХЗ, в результате чего суммарная выходная мощность оборудования уменьшилась в 4 раза, что приведет в дальнейшем к пропорциональному увеличению срока службы оборудования ЭХЗ (анодных заземлений). Кроме этого часть оборудования была выведена в резерв. Следовательно, основным результатом работ по оптимальному регулированию режимов работы средств ЭХЗ является значительное снижение эксплуатационных затрат на противокоррозионную защиту объекта транспорта газа.

## **Совершенствование требований к ремонту магистральных газопроводов с дефектами коррозионного растрескивания под напряжением**

*И.В. Ряховских, А.В. Мельникова  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Среди множества поверхностных дефектов металла труб магистральных газопроводов (МГ) именно дефекты коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) представляют наибольшую опасность с точки зрения эксплуатационной надежности трубопровода.

Большинство исследователей явления КРН трубных сталей считают, что колонии стресс-коррозионных трещин на ранней стадии их развития можно разделить на две условные группы: растущие с постоянной скоростью и «стабилизированные» дефекты. При этом доля «стабилизированных» дефектов КРН металла труб в составе длительно эксплуатируемых МГ весьма высока (свыше 90 %), что подтверждается анализом стресс-коррозионной повреждаемости газопроводов России и Канады.

Существующие методы диагностирования МГ с применением внутритрубных дефектоскопов позволяют выявлять с приемлемой вероятностью трещины глубиной более 20 % толщины стенки трубы, а наружные сканеры-дефектоскопы обеспечивают выявление указанных дефектов глубиной от 10 % и более. Следовательно, большая часть неглубоких трещин КРН не может быть выявлена по результатам диагностических обследований участков МГ, а значит остается в эксплуатации после переизоляции. В этой связи обоснование работоспособности труб и возможности длительной консервации дефектов КРН глубиной менее 10 % толщины стенки и при условии исключения доступа грунтового электролита к поверхности металла трубы является актуальной задачей ПАО «Газпром».

Оценка работоспособности труб с дефектами КРН выполнена по методике Р Газпром 9.4-030-2014 классификации стресс-коррозионных дефектов по степени опасности, основанной на оценке прочности труб с учетом геометрической формы дефекта, стадии его развития и свойств металла труб.

Для подтверждения выполненных расчетов реализована комплексная программа испытаний, по результатам которой экспериментально доказано отсутствие развития трещин глубиной менее 10 % толщины стенки трубы при механических нагрузках, превышающих эксплуатационные, при условии исключения электрохимической составляющей процесса КРН даже с учетом значительных переменных нагрузок.

Проведение натурных опытно-промышленных испытаний возможности консервации дефектов КРН на участках МГ было поддержано ООО «Газпром трансгаз Чайковский», ООО «Газпром трансгаз Ухта», ООО «Газпром трансгаз Югорск».

## **Сравнение методов описания взаимодействия подземных магистральных газопроводов с грунтом в отечественной и зарубежной практике**

*Е.С. Носова (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Численное моделирование и анализ прочности подземных трубопроводов, прокладываемых в районах со сложными природно-климатическими и геотектоническими условиями, представляет собой непростую задачу. Она включает как сложно формализуемый характер взаимодействия трубопровода с грунтом, так и чисто вычислительные трудности, связанные с пространственной геометрией, большими деформациями, необходимостью адекватно моделировать механизмы местной и общей потери устойчивости трубопровода в условиях его нелинейного контактного взаимодействия с грунтом.

Основной инженерной моделью для расчетов участков трубопровода на грунтовые воздействия в настоящее время является балочная модель метода конечных элементов, позволяющая учесть большие перемещения и пластические деформации системы. Механическое взаимодействие трубопровода с окружающим грунтом описывается с помощью нелинейных связей (грунтопружин), которые в зависимости от своей ориентации передают взаимодействие трубы и грунта в трех ортогональных направлениях.

Ключевым моментом при численном анализе является корректный выбор параметров диаграмм взаимодействия трубопровода с грунтом. В данной работе рассмотрены методики расчета параметров диаграмм грунтопружин, принятые в отечественной и зарубежной практике. В табличной и графической форме приведено сопоставление результатов расчета по двум методикам для различных типов грунтов.

Для оценки влияния различий в методиках определения параметров грунтопружин на напряженно-деформированное состояние трубопровода выполнены модельные расчеты участков перехода подземного газопровода через активный тектонический разлом типа сброс. На основе анализа полученных численных результатов сделаны выводы об особенностях применения моделей и при расчетах подземных трубопроводов на грунтовые воздействия.

## **Автоматизированный неразрушающий контроль основного металла труб и сварных соединений магистральных газопроводов в процессе капитального ремонта с применением наружных сканеров-дефектоскопов**

*О.Н. Мелёхин (ПАО «Газпром»),  
И.Л. Вялых, Д.А. Зотов, А.Е. Липовик, А.Е. Ремизов,  
И.Г. Петухов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

Автоматизированный неразрушающий контроль наружными сканерами-дефектоскопами является основным способом диагностирования, обеспечивающим необходимую производительность и достоверность контроля основного металла труб и сварных соединений при капитальном ремонте линейной части магистральных газопроводов (ЛЧ МГ).

Проведенные квалификационные испытания наружных сканеров-дефектоскопов определили их дефектоскопические возможности, а также преимущества и недостатки каждого отдельно взятого сканера. Результатом комплекса проведенных испытаний является реестр наружных сканеров-дефектоскопов для автоматизированного неразрушающего контроля труб и сварных соединений ЛЧ МГ при капитальном ремонте, технические условия которых соответствуют требованиям ПАО «Газпром».

Дальнейшее развитие наружных сканеров-дефектоскопов основано на реализации новых конструктивных решений, совершенствовании методического обеспечения контроля, оптимизации алгоритмов обработки результатов диагностирования.

В настоящем докладе приведены сведения:

- о современном состоянии развития наружных сканеров-дефектоскопов, используемых при проведении диагностирования ЛЧ МГ ПАО «Газпром»;
- новых перспективных разработках в области автоматизированного неразрушающего контроля ЛЧ МГ с использованием наружных сканеров-дефектоскопов;
- основных направлениях повышения качества и информативности представляемых результатов контроля наружными сканерами-дефектоскопами.

## **Безэлектролитные электроды сравнения и перспективы их применения в системах контроля эффективности ЭХЗ**

*Ю.А. Иванов, Б.Ф. Назаров, А.В. Коршунов  
(ООО «НПП ЭлектроХимЗащита»,  
Томский политехнический университет)*

В ООО «НПП ЭлектроХимЗащита» (г. Томск) проводится разработка альтернативных МСЭ безэлектролитных электродов сравнения типа СЭС, отвечающих требованиям массового применения на трубопроводах в отношении совместимости с принципом ЭХЗ, длительности срока службы, простоты установки в грунт без применения сложной техники, их стоимости и габаритам.

Электрод сравнения СЭС-1 усовершенствован и дополнен пористым конусообразным керамическим контейнером (Ø30 и 50) со специальным составом на основе бентонитовой глины. Это позволило практически исключить риски, связанные с его установкой вслепую в предварительно подготовленный шурф, и минимизировать влияние влажности, кислотности, температуры, а также содержания ионов меди в грунте на стабильность собственного потенциала электрода.

Электроды устанавливаются в грунт путем вдавливания с помощью оснастки в дно шурфа, пробуренного мотобуром, либо подготовленного специальным приспособлением. После пересыхания или промерзания в грунте работоспособность электрода восстанавливается.

Разработан также адаптер, позволяющий полученные с применением электродов с различными собственными потенциалами результаты автоматически приводить к общепринятой единой шкале медно-сульфатного электрода.

Разрабатываются безэлектролитные моно- и биметаллические электроды сравнения с высокой стабильностью собственного потенциала, выполненные в защитном контейнере с твердым наполнителем, работающие за счет контакта с влажным грунтом. Твердотельное исполнение электрода позволяет избежать влияния резких колебаний влажности, pH, содержания в грунте коррозионно-активных ионов. После пересыхания или промерзания грунта и последующего его увлажнения работоспособность электродов также самопроизвольно восстанавливается.

Предлагаемые электроды экономичны при производстве и не требуют специального обслуживания или ремонта при эксплуатации.

## **Многофункциональные приборы «Кортес» интенсивного мониторинга коррозионного состояния объектов транспорта газа**

*Ю.А. Иванов, С.М. Чухланцев, Б.Ф. Назаров, В.А. Попугин  
(ООО «НПП ЭлектроХимЗащита», Томский политехнический университет)*

Предупреждение зарождения и ограничение развития различного рода коррозионных повреждений при проектировании, строительстве (ремонте) и в процессе длительной (свыше 50 лет) эксплуатации магистрального газопровода является главной задачей ПАО «Газпром».

Предусмотренные действующими ГОСТ Р 51164-98, ГОСТ 9.602-2005 методы в условиях комплексного воздействия факторов коррозии, характерных для регионов Западной Сибири, Крайнего Севера и Дальнего Востока, не достаточны для обеспечения необходимой эффективности ЭХЗ трубопроводов, представляющих собой сложную гетерогенную коррозионную систему с параметрами, изменяющимися по его протяженности и времени.

Для разработки методов профилактики коррозионных повреждений трубопроводов в данных условиях разработаны приборы серии «Кортес», которые снабжены знако-буквенным индикатором, функциональными кнопками управления и разъемами для подключения зондов, устанавливаемых на глубину укладки трубопроводов и измерительных проводов для подключения к КИП.

Прибор «Кортес-Дуо» предназначен для измерения и регистрации всех нормируемых параметров ЭХЗ, блуждающих токов, удельного электрического сопротивления и кислотности грунта, а также токов кислорода и водорода и других параметров непосредственно на глубине укладки трубопровода. Проведены государственные испытания данного прибора с целью утверждения типа средства измерения. Планируемый выпуск – начало 2016 г.

Прибор «Кортес-ИОН» имеет дополнительные функции: измерение водорастворимых солей в грунте в мобильном режиме.

Приборы управляются программным способом, в том числе дистанционно, например, из кабины используемого транспортного средства с помощью планшетного компьютера, который расширяет функциональные возможности прибора и позволяет проводить измерения в любую погоду. При этом автоматически производится маршрутизация к КИП, привязка к карте, расчет координат по GPS, идентификация КИП, измерение и внесение данных в протокол измерений. Это позволяет исключить влияние человеческого фактора на достоверность замеров.

**Управление техническим состоянием газопроводов,  
подверженных коррозионному растрескиванию  
под напряжением, с использованием  
автоматизированных систем**

*С.Н. Куимов, С.В. Баусов, А.И. Истомин, В.В. Подольская  
(ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург»)*

Специфика управления техническим состоянием (ТС) газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН), связана:

- с недостаточной степенью надежности выявления и идентификации различных типов трещиноподобных дефектов внутритрубной диагностикой (ВТД);
- недостаточной достоверностью прогнозирующих технологий при выявлении КРН;
- появлением областей трещин специфической морфологии, ориентированных под углом, поперек и вдоль образующей на трубах, расположенных к КРН.

Необходимо построить процессы управления ТС таким образом, чтобы реализовать минимальные суммарные затраты за счет разработки программ и планов-графиков ремонта, адекватных ТС, сокращения срока их формирования, обеспечения соответствия планируемых показателей ремонта фактическим. Для достижения этой цели решены задачи построения специализированного алгоритма и информационной модели системы оценки ТС и планирования ремонта, газопроводов, подверженных КРН, разработано прикладное программное обеспечение, проведена его апробация при детальном планировании планово-предупредительного и комплексного ремонтов. Разработанная информационная модель позволяет проводить оценку ТС и планирование ремонта по результатам ВТД, инструментальной наземной диагностики, технического диагностирования в шурфах с использованием информации о местоположении и протяженности участков с наличием природно-технических условий для развития КРН.

Для осуществления контроля выполнения технического диагностирования в шурфах и устранения дефектов в масштабах газотранспортного предприятия проводится опытно-промышленная эксплуатация специализированной системы учета дефектов и дефектных элементов магистральных газопроводов, обследованных ВТД, также являющейся неотъемлемой частью концепции управления техническим состоянием и целостностью.

**Методика оценки времени до разрушения образцов  
трубопроводных сталей с трещиноподобными дефектами  
на основе микромеханической модели акустической эмиссии  
гетерогенных материалов**

*М.В. Смирнов, В.В. Носов, М.И. Антонов, М.В. Шабалин  
(Испытательный центр «Политехтест» Санкт-Петербургского  
политехнического университета Петра Великого)*

В докладе описывается методика оценки времени до разрушения образцов трубопроводных сталей, нагруженных статически, на основе микромеханической модели акустической эмиссии.

Методика строится на основе результатов акустико-эмиссионного контроля, обработанных по представлениям микромеханической модели накопления микроповреждений и их развития в трещиноподобные макродефекты. Предлагаемый подход не требует введения эмпирических коэффициентов концентрации напряжений в области дефектов и включает в себя лишь детерминированно-статистическую интерпретацию результатов регистрации сигналов акустической эмиссии.

Методика прошла апробацию на образцах сварных соединений и доказала свою достоверность для различных трубопроводных сталей.

Представлены возможности обобщения и уточнения разработанной методики для определения срока безопасной эксплуатации трубопроводов на основе микромеханической модели акустической эмиссии.

VI Международная научно-техническая конференция

**Газотранспортные системы: настоящее и будущее  
(GTS-2015)**

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

Подписано к печати 22.10.2015 г.  
Тираж 420 экз. Ф-т 60×84/16  
Объем: 10,11 усл. печ. л.