

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

**Научно-практический молодежный семинар**

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ  
ГАЗОПРОВОДОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ КОРРОЗИОННОМУ  
РАСТРЕСКИВАНИЮ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ**

**15-16 апреля 2015 г.**

Москва 2015

## **УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ!**

Рад вас приветствовать в стенах ООО «Газпром ВНИИГАЗ»!

Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН), или стресс-коррозия, является одной из основных причин аварий и инцидентов на подземных магистральных газопроводах (МГ) высокого давления. Несмотря на длительную историю изучения данной проблемы, ведущими мировыми научными школами до настоящего времени не предложено однозначного механизма для описания процесса КРН стальных труб. Причинами тому служат многофакторность явления и значительное количество параметров, закладываемых на всех этапах изготовления и эксплуатации трубопровода, а также масштабность протяженных систем МГ, подверженных стресс-коррозионным разрушениям.

Накопленные в России и за рубежом результаты экспериментальных исследований и статистических закономерностей о стресс-коррозии уже сегодня позволяют выработать технические решения, направленные на повышение эксплуатационной надежности МГ с дефектами КРН. Тем не менее, отсутствие единой физической модели явления требует дальнейших фундаментальных исследований механизмов КРН трубных сталей в грунтовых электролитах, что необходимо для развития методов бесконтактной диагностики и технологий ремонта МГ, а также разработки требований к стальным трубам, стойким против КРН.

Уверен, что полученные на семинаре знания станут основой для разработки новых высокоэффективных решений, направленных на обеспечение системной надежности газотранспортной системы ОАО «Газпром» в условиях риска КРН.

Надеюсь, что на базе организованного в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» ежегодного семинара удастся сформировать площадку обмена знаниями в области стресс-коррозии между представителями эксплуатирующих организаций, научных институтов и компаний, выполняющих ремонт и диагностирование МГ.

Заместитель Генерального директора по науке  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

В.Н. Воронин

## УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ ПЕРВОГО НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОГО СЕМИНАРА!

Искренне рады приветствовать вас на мероприятии, посвященном повышению надежности магистральных газопроводов ОАО «Газпром», подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением.

Решением ОАО «Газпром» в 2015 г. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» определен в качестве головной организации в области координации всех научно-исследовательских и экспериментальных работ по направлению повышения надежности и устойчивости магистральных газопроводов против КРН.

Учитывая возложенную на коллектив ООО «Газпром ВНИИГАЗ» ответственность, приглашаем всех присоединиться к нашей команде и приступить к созидательной работе.

Программа семинара гармонизирована с актуальными для ОАО «Газпром» научно-техническими мероприятиями в области диагностирования, ремонта, эксплуатации подземных трубопроводов, подверженных КРН, в частности:

- проведение экспериментальных и натурных исследований процесса КРН с учетом особенностей эксплуатации и проектирования МГ;
- анализ, разработка и совершенствование нормативной базы;
- формирование требований к продукции, материалам, оборудованию и технологиям;
- разработка программного обеспечения и алгоритмов оценки склонности магистральных газопроводов к КРН;
- опыт применения разработок, направленных на повышение надежности МГ против КРН.

Мы уверены, что вместе сможем достичь значительных успехов как в понимании механизма КРН и отдельных его аспектов, так и в нормативно-техническом регулировании процесса эксплуатации МГ, подверженных КРН, разработке требований к новым видам трубной продукции и защитных покрытий, а также внедрении оборудования и технологий диагностирования и ремонта трубопроводов.

Надеемся, что новые знакомства и опыт, приобретенные на семинаре, послужат крепким фундаментом для решения сложной и крайне важной отраслевой задачи – повышения надежности и устойчивости магистральных газопроводов против КРН, а ежегодные встречи на данном мероприятии станут нашей хорошей традицией.

Директор Центра развития трубной продукции  
и технологий сварки

В.А. Егоров

Начальник лаборатории исследования  
процессов КРН, к.т.н.

И.В. Ряховских

Заместитель начальника

Лаборатории ингибиторной защиты,

Председатель Молодежного ученого совета, к.х.н.

Р.В. Кашковский

## **УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!**

Сердечно приветствуем вас на Научно-практическом молодежном семинаре «Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением».

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», являясь ведущим отраслевым научно-исследовательским институтом, осуществляет разработку и координацию научных исследований в рамках крупнейших комплексных проектов и программ в соответствии с задачами ОАО «Газпром». Для реализации перспективных проектов газовой отрасли стратегически важным является обеспечение притока в науку квалифицированных и компетентных молодых ученых и инженеров, забота о подготовке смены научных кадров, сохранение преемственности в отечественной газовой науке и развитие научной школы отрасли, взаимосвязь между наукой и практикой.

Здесь, на семинаре, вы представляете молодое поколение специалистов газовой отрасли. Вы полны планов и готовы к большой и серьезной работе по их поэтапному осуществлению. Это очень важно, так как через десятилетие ответственность за огромную отрасль, сложные предприятия и комплексные программы ляжет на ваши плечи. Ваша задача – сохранить и преумножить все лучшее, что создано предшествующими поколениями специалистов.

Уверены, что представленные вами научные исследования будут способствовать созданию инновационных решений в газовой отрасли, внедрению в производство передовых научных идей и технологий, выработке единых подходов к его стабильному развитию, а семинар станет площадкой для обмена опытом молодых специалистов топливно-энергетического комплекса, продолжит анализ вопросов надежности магистральных газопроводов, мобилизует и активизирует научную мысль на поиск решения актуальных вопросов.

Искренне желаем вам смелости мысли, верности лучшим научным традициям, конструктивного диалога, эффективного взаимодействия и новых достижений на благо отечественной газовой отрасли!

Отдел кадров и трудовых отношений  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

**ПРОГРАММА**  
**Научно-практического молодежного семинара**

**«Повышение надежности магистральных газопроводов,  
подверженных коррозионному растрескиванию  
под напряжением»**

п. Развилка

ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

15 апреля 2015 г.

<b>8.30–9.30</b>	Регистрация участников семинара (2-й этаж корпуса ОНТЦ, блок «Е»)
<b>9.30–10.00</b>	Вступительное слово
<b>10.00–10.20</b>	Закономерности коррозионного растрескивания под напряжением трубных сталей класса прочности Х70 в модельных грунтовых электролитах с рН, близким к нейтральному  <i><b>Богданов Роман Иванович</b></i> (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)
<b>10.20–10.40</b>	Исследование влияния металлургических факторов на стойкость современных трубных сталей против коррозионного растрескивания  <i><b>Удод Кирилл Анатольевич</b></i> (ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»)
<b>10.40–11.00</b>	Экспериментальная оценка эксплуатационной надежности элементов магистральных газопроводов с концентраторами напряжений в виде растрескиваний, образовавшихся в результате коррозионного растрескивания под напряжением  <i><b>Мишарин Дмитрий Андреевич</b></i> (ООО «Газпром трансгаз Чайковский»)
<b>11.00–11.20</b>	Перспективы применения оптических маркеров на основе наночастиц золота для визуализации микротрещин в процессе диагностических обследований магистральных газопроводов  <i><b>Зиангирова Майя Юрьевна</b></i> (РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина)

<b>11.20–11.40</b>	Лабораторные исследования водородного охрупчивания стали 17Г1С под воздействием катодной защиты и внешней агрессивной среды <b>Онацкий Вадим Леонидович</b> (ФГБОУ ВПО УГТУ)
<b>11.40–12.00</b>	Определение количества водорода в наплавленном металле как способ снижения риска возникновения трещин в сварных швах <b>Панченко Олег Владиславович</b> (ФГАОУ ВО СПбПУ)
<b>12.00–12.20</b>	<b>Кофе-брейк</b>
<b>12.20–12.40</b>	Влияние послойной текстурной неоднородности труб магистральных газопроводов на их склонность к коррозионному растрескиванию под напряжением <b>Крымская Ольга Александровна</b> (НИЯУ МИФИ)
<b>12.40–13.00</b>	Микроскопия дефектов коррозионного растрескивания под напряжением. Зависимость между линейными параметрами трещин <b>Афанасьев Алексей Викторович</b> (ООО «Газпром трансгаз Самара»)
<b>13.00–13.20</b>	Особенности проектирования магистральных трубопроводов с учетом предшествующего опыта эксплуатации. Основные принципы предупреждения коррозионного растрескивания магистральных трубопроводов <b>Гладков Дмитрий Евгеньевич</b> (ОАО «СевКавНИПИгаз»)
<b>13.20–13.40</b>	Повышение эффективности выявления трещиноподобных дефектов труб магистральных газопроводов <b>Ремизов Алексей Евгеньевич</b> (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)
<b>13.40–14.00</b>	<b>Фотографирование участников семинара</b>
<b>14.00–15.00</b>	<b>Обед</b>
<b>15.00–15.20</b>	Исследование возможности выявления фрагментов труб, предрасположенных к коррозионному растрескиванию под напряжением <b>Михалев Андрей Юрьевич</b> (ОАО «Гипрогазцентр»)

<b>15.20–15.40</b>	<p>Диагностирование трещин коррозионного растрескивания под напряжением на ранней стадии их развития на трубах подземных газопроводов</p> <p><b>Поголяев Степан Иванович</b> (ООО «Газпром трансгаз Ухта»)</p>
<b>15.40–16.00</b>	<p>Особенности выявления коррозионного растрескивания под напряжением на линейной части магистральных газопроводов средствами внутритрубной диагностики</p> <p><b>Пластинин Александр Сергеевич</b> (ОАО «Оргэнергосгаз»)</p>
<b>16.00–16.20</b>	<p>Анализ технического состояния участков линейной части магистральных газопроводов и трубопроводной обвязки компрессорных станций ООО «Газпром трансгаз Сургут», подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением</p> <p><b>Спиридонов Евгений Юрьевич</b> (ООО «Газпром трансгаз Сургут»)</p>
<b>16.20–16.40</b>	<p>Опыт проведения диагностического обследования технологических трубопроводов в шурфах с целью выявления коррозионного растрескивания под напряжением в ООО «Газпром трансгаз Саратов»</p> <p><b>Иванов Антон Александрович</b> (ООО «Газпром трансгаз Саратов»)</p>
<b>16.40–17.00</b>	<p>Повышение достоверности выявления трещин в зонах продольных и поперечных швов средствами внутритрубной диагностики</p> <p><b>Кукушкин Александр Николаевич</b> (ЗАО «НПО «Спецнефтегаз»)</p>
<b>17.00–17.20</b>	<p>Результаты работы по диагностическому сопровождению объектов комплексного ремонта технологических трубопроводов компрессорных станций ОАО «Газпром» за период 2007–2014 гг.</p> <p><b>Исмагилов Марат Басирович</b> (ООО «ЭНТЭ»)</p>
<b>17.20–20.00</b>	<p><b>Торжественный ужин в гостинице ООО «Газпром ВНИИГАЗ»</b></p>

16 апреля 2015 г.

<b>Продолжение работы семинара</b>	
<b>9.00–9.20</b>	Опыт использования ГИС-технологий для оценки стресс-коррозионного состояния магистральных газопроводов <b>Мирзоев Джаббар Мухамадович</b> (ЗАО «Аэрокосмический мониторинг и технологии»)
<b>9.20–9.40</b>	Перспективы диагностики перемычек линейной части магистральных газопроводов ультразвуковым волноводным методом <b>Дурейко Андрей Владимирович</b> (ООО «Акустические Контрольные Системы»)
<b>9.40–10.00</b>	Опыт практического применения бесконтактного ультразвукового сканера-дефектоскопа A2075 SoNet для контроля основного металла тела труб магистральных газопроводов <b>Цыгасов Юрий Александрович</b> (ООО «АКС-Сервис»)
<b>10.00–10.20</b>	Регистрация внутритрубным ЭМА-дефектоскопом отслоений изоляционного покрытия как одного из факторов возникновения коррозионного растрескивания под напряжением <b>Михайлов Андрей Игоревич</b> (ЗАО «НПО «СПЕКТР»)
<b>10.20–10.40</b>	Планирование ожидаемого количества отбракованной трубы в процессе проведения капитального ремонта на объектах линейной части магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» в условиях образования дефектов коррозионного растрескивания под напряжением <b>Качулин Никита Андреевич</b> (ООО «Газпром трансгаз Югорск»)
<b>10.40–11.00</b>	<b>Кофе-брейк</b>
<b>11.00–11.20</b>	Оптимизация планирования ремонта газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением, с использованием автоматизированных систем <b>Подольская Вера Владимировна</b> (ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург»)



<b>11.20–11.40</b>	<p>Метод повышения надежности магистральных газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением</p> <p><b>Садыков Рустам Зуфарович</b> (ООО «Газпром трансгаз Казань»)</p>
<b>11.40–12.00</b>	<p>Обеспечение безопасной эксплуатации магистральных газопроводов в условиях стресс-коррозионной повреждаемости</p> <p><b>Тихвинская Анастасия Юрьевна</b> (НОУ СПО «Волгоградский колледж газа и нефти» ОАО «Газпром»)</p>
<b>12.00–12.20</b>	<p>Обеспечение надежности эксплуатации газопроводов в области ответственности ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород»</p> <p><b>Липкин Денис Владимирович</b> (ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород»)</p>
<b>12.20–12.40</b>	<p>Совершенствование технологии ремонта магистральных газопроводов в регионах с высокой предрасположенностью к стресс-коррозии</p> <p><b>Мельникова Анна Валерьевна</b> (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)</p>
<b>12.40–13.00</b>	<b>Кофе-брейк</b>
<b>13.00–13.20</b>	<p>Предотвращение коррозионного растрескивания стали Х70 под покрытиями с помощью ингибиторов</p> <p><b>Редькина Галина Владимировна</b> (ИФХЭ РАН)</p>
<b>13.20–13.40</b>	<p>Разработка ингибированных полимерных композиций с целью предотвращения риска коррозионного растрескивания под напряжением на магистральных газопроводах</p> <p><b>Малеева Марина Алексеевна</b> (ИФХЭ РАН)</p>
<b>13.40–14.00</b>	<p>Оптимизация дробеметной/дробеструйной обработки в трубной промышленности</p> <p><b>Стародубцев Михаил Юрьевич</b> (ООО «Центр Современных Технологий»)</p>
<b>14.00–14.20</b>	<p>Перспектива применения полимерных трубопроводов на объектах Уренгойского газопромыслового управления</p> <p><b>Галездинов Артур Альмирович</b> (ООО «Газпром добыча Уренгой»)</p>

<b>14.20–15.00</b>	<b>Обед</b>
<b>15.00–16.30</b>	<b>Технологическая экскурсия по объектам Опытно-экспериментального центра ООО «Газпром ВНИИГАЗ»</b>
<b>16.30–17.00</b>	<b>Награждение победителей. Вручение сертификатов участникам</b>
<b>17.00–17.20</b>	<b>Обсуждение предложений и принятие решения. Закрытие семинара</b>
<b>17.20–19.00</b>	<b>Ужин</b>

## **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ КЛАССА ПРОЧНОСТИ Х70 В МОДЕЛЬНЫХ ГРУНТОВЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ С pH, БЛИЗКИМ К НЕЙТРАЛЬНОМУ**

*Р.И. Богданов, И.В. Ряховских  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)  
R\_Bogdanov@vniigaz.gazprom.ru*

Результаты диагностических обследований участков магистральных газопроводов в России и за рубежом показали, что вне зависимости 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. При этом в зависимости от состава электролита выделяют два основных типа КРН трубных сталей: растрескивание в концентрированных карбонатных электролитах с высокими значениями pH (9,0–12,5) и растрескивание в разбавленных электролитах с pH, близким к нейтральному (5,0–7,5). Результаты химического анализа проб грунта и грунтового электролита, взятых с мест аварий газопроводов России, произошедших по причине стресс-коррозии, свидетельствуют о том, что отечественные газопроводы подвержены pH-нейтральному КРН.

В основе проведенной 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 и состояния поверхности. Скорость развития коррозионно-механических трещин вглубь металла определяли на образцах балочного типа в процессе их статического и циклического нагружения. Электрохимические измерения проводили в ячейке Деванатхана–Стахурского на мембранах из стальной фольги. Фоновыми средами, моделирующими грунтовой электролит, служили цитратный буферный раствор (pH = 5,5) и смесь раствора NS4 и боратного буфера с pH = 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 КРН в модельных грунтовых электролитах происходит на локальных повреждениях металла, образующихся в процессе производства труб или выплавки стали. Показано, что неметаллические включения, выходящие на поверхность образца, оказывают значительное влияние на сопротивление стали КРН. Также установлено отрицательное влияние повышенного содержания полигонального феррита на фоне структурной полосчатости на стойкость стали в отношении КРН. Показано, что скорость роста трещины вглубь металла растет в присутствии активаторов анодного растворения (АР) металла (сульфида, карбоната и фосфат-ионов). Ингибиторы АР (бензотриазол, катамин АБ) уменьшают скорость роста трещины. Промоторы НВ стали не оказывают стимулирующего действия на КРН (йодид-ионы, тиомочевина). Катодная

поляризация трубной стали X70 тормозит рост трещины при статических и относительно малых циклических нагрузках.

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СТОЙКОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ ПРОТИВ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ**

*К.А. Удод, И.Г. Родионова, О.Н. Бакланова  
(ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»)  
kirilludod@chermet-cpmc.ru*

Современные трубные стали, используемые для изготовления труб большого диаметра, существенно отличаются от сталей предыдущих поколений. На смену традиционным сталям с феррито-перлитной структурой пришли стали с феррито-бейнитной структурой, отличающейся большей дисперсностью. Для этих сталей с пониженным содержанием углерода характерна большая стабильность химического состава, более высокая чистота по вредным примесям и неметаллическим включениям, а также более однородная макро- и микроструктура. В то же время ввиду непродолжительного периода эксплуатации газопроводов из современных сталей нет данных о стойкости этих сталей к локальным видам коррозии, прежде всего к коррозионному растрескиванию.

В большинстве работ, посвященных изучению явления коррозионного растрескивания металла труб, местное коррозионное разрушение или локализованная электрохимическая коррозия рассматривается как первая или начальная стадия процесса коррозионного растрескивания. Многие исследователи в связи с этим полагают, что непосредственной причиной локальной коррозии стали являются выходящие на поверхность трубы неметаллические включения строчечной формы в основном в виде сульфидов и оксидов марганца.

В докладе представлены результаты проведенной оценки влияния металлургических факторов на стойкость современных трубных сталей против коррозионного растрескивания.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЙ В ВИДЕ РАСТРЕСКИВАНИЙ, ОБРАЗОВАВШИХСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ**

*П.В. Абросимов, Д.А. Мишарин  
(ООО «Газпром трансгаз Чайковский»)  
misharinda@itc.ptg.gazprom.ru*

В число наиболее приоритетных научно-технических задач ОАО «Газпром» на протяжении многих лет входит безопасная эксплуатация магистральных газопроводов (МГ) в условиях коррозионного растрескивания под напряжением (КРН).

Впервые в ОАО «Газпром» проведена экспериментальная оценка эксплуатационной надежности элементов МГ с концентраторами напряжений в виде растрескиваний, образовавшихся вследствие КРН. Результаты исследований легли в основу нормативных документов Компании. Работы проводились при сотрудничестве с ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

В докладе представлены итоги проведения стендовых гидравлических испытаний трубы, вырезанной из подключающего шлейфа Новокунгурской КС, с множественными стресс-коррозионными дефектами и искусственным концентратором напряжения. Приведены данные испытаний модельных образцов на разрывной машине в коррозионной среде и при ее отсутствии в течение расчетного количества циклов, одноосных испытаний модельных образцов на прочность, рентгенодифрактометрических измерений распределения напряжений в окрестностях стресс-коррозионных дефектов, металлографического анализа металла боковых шлифов модельных образцов.

Проведены испытания модельного образца с участками стресс-коррозии на водородное охрупчивание в наводораживающем растворе без приложения к нему внешней нагрузки.

Результаты выполненных исследований важны для изучения причин образования КРН, способов его предотвращения, а также достижения максимально возможной надежности работы МГ.

# **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МИКРОТРЕЩИН В ПРОЦЕССЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

*М.Ю. Зиангирова  
(РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина)  
ziangirova.m@gmail.com*

Как известно, более половины всех аварий на магистральных газопроводах (МГ) происходит по причине коррозионного растрескивания под напряжением. Около 90 % общего количества неглубоких стресс-коррозионных дефектов находятся в стабилизированном («спящем») состоянии, следовательно, трубы с такими дефектами не требуют немедленного ремонта. Для обоснованного принятия решения о возможности эксплуатации поврежденных стресс-коррозией труб в составе МГ необходима разработка эффективных методов неразрушающего контроля (НК), позволяющих выявлять и фиксировать размеры трещин на ранних стадиях развития для последующей оценки кинетики их роста.

До настоящего времени нанотехнологии серьезно не рассматривались в качестве перспективных с точки зрения решения подобных задач. Однако размеры наночастиц легко соотнести с размерами микротрещин, что делает их не только средством качественного обнаружения дефектов на стадии зарождения, но и весьма точным инструментом измерения их размеров. Применение золей – золотых наночастиц с узким распределением по размерам, способных проникать в полости нанодефектов, в качестве оптических маркеров для визуализации микротрещин различных размеров на МГ с помощью люминесцентной дефектоскопии может заметно повысить точность существующих методов НК.



## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОРОДНОГО ОХРУПЧИВАНИЯ СТАЛИ 17Г1С ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ И ВНЕШНЕЙ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ

*В.Л. Онацкий*  
(ФГБОУ ВПО УГТУ)  
*vonatskiy@ugtu.net*

Среди основных причин аварий на магистральных трубопроводах выделяют коррозионное растрескивание под напряжением (КРН). Водородное охрупчивание, вызванное контактом с агрессивной средой и действием катодной поляризации, способствует возникновению стресс-коррозии. Важно определить и поддерживать рациональный потенциал катодной защиты.

Для изучения возможности определения рационального потенциала с помощью водородного датчика ДН-1 проведены исследования, в ходе которых оценивалось влияние защитного потенциала на скорость проникновения водорода в стальной образец. Исследования выполняли на экспериментальной установке, состоящей из источника постоянного тока и графитового анодного заземлителя, имитирующих работу станции катодной защиты; хлоридсеребряного электрода сравнения; водородного датчика ДН-1; измерительных приборов (амперметр и вольтметры) и стержня, выполненного из трубной стали 17Г1С. Исследование проводили в семи средах с различным водородным показателем от 5 до 9 рН.

В процессе проведения эксперимента уровень защитного потенциала пошагово повышали от естественного до значения минус 1,5 В, изменение величины тока проникновения водорода в сталь фиксировали при помощи амперметра и ПЭВМ.

По результатам исследований получены экспериментальные зависимости, отражающие возможность определения рационального потенциала катодной защиты с помощью водородного датчика ДН-1.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДОРОДА В НАПЛАВЛЕННОМ МЕТАЛЛЕ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТРЕЩИН В СВАРНЫХ ШВАХ**

*О.В. Панченко, А.М. Левченко  
(ФГАОУ ВО СПбПУ)  
mr\_o\_p@mail.ru*

Причины коррозионного растрескивания носят комплексный характер. Среди основных можно выделить химическую неоднородность материала и наличие напряжений, которые всегда присутствуют в сварных соединениях. В связи с этим сварное соединение – одна из опасных частей трубопровода. Водород, попадающий в сварные швы при сварке, может быть причиной возникновения коррозионного растрескивания и других форм разрушения. Для снижения риска разрушения, вызванного водородом, вводятся ограничения по его максимальному содержанию в металле. Например, в документах Международной ассоциации классификационных обществ сталь с пределом прочности наплавленного металла более 550 МПа рекомендуется сваривать материалами с содержанием водорода, не превышающим  $5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ .

В отечественном стандарте на определение содержания водорода в наплавленном металле указана вакуумная методика, которая отличается высокой точностью и признана международными классификационными сообществами. Методика имеет ряд недостатков: длительность испытаний и устаревшее оборудование. Для усовершенствования методики разработана математическая модель выделения диффузионного водорода, которая позволяет экстраполировать результаты измерений в начальный промежуток времени до момента окончания измерений. Для реализации этой методики разработано устройство с цифровой системой управления и измерений. Проведена экспериментальная проверка разработанной методики и устройства. Методика позволяет снизить время определения содержания водорода с 5 сут до 12 ч, точность полученных данных будет находиться в пределах 10 %. Экспериментальная проверка разработанного устройства показала идентичность соответствующих результатов измерений уже используемым, полученным на оборудовании.

## **ВЛИЯНИЕ ПОСЛОЙНОЙ ТЕКСТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ НА ИХ СКЛОННОСТЬ К КОРРОЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ**

*О.А. Крымская, Ю.А. Перлович, Н.С. Морозов, В.А. Фесенко,*

*М.Г. Исаенкова*

*(НИЯУ МИФИ),*

*И.В. Ряховских, Т.С. Есеев*

*(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)*

*oakrymskaya@mephi.ru*

В докладе на основе данных рентгеновского анализа материала труб для магистральных газопроводов (МГ) показано, что в процессе их изготовления закладывается послойная текстурная и/или структурная неоднородность, степень которой при дальнейшей эксплуатации оказывает влияние на склонность труб к коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН).

Проведено рентгеновское исследование образцов труб, вырезанных из двух МГ, находившихся в различных условиях эксплуатации: Грязовец – КГМО и Ямбург – Тула II. Образцы вырезали из участков, содержащих и не содержащих дефекты, обусловленные КРН. Построены распределения параметров кристаллической решетки по толщине стенки трубы и проведен анализ кристаллографической текстуры внешних и внутренних слоев. Полученные данные свидетельствуют о значительной послойной неоднородности во всех образцах. При этом, несмотря на различный характер текстурной неоднородности газопроводов, в обоих случаях более неоднородное распределение текстурных или структурных характеристик приводит к увеличению стойкости к КРН.

Этот эффект объясняется насыщением поверхностного слоя горячекатаного листа и полученной из него трубы примесями внедрения и порами, в результате чего его параметр решетки оказывается выше, чем у нижележащего слоя. При слоистой текстуре нижележащие слои оказывают на поверхностный слой сжимающее воздействие, препятствуя образованию в нем трещин, которые к тому же тормозятся при послойной текстурной неоднородности листа.

## МИКРОСКОПИЯ ДЕФЕКТОВ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ЛИНЕЙНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ТРЕЩИН

*А.В. Афанасьев, М.И. Васьков*  
(ООО «Газпром трансгаз Самара»)  
*av.afanasev@samaratransgaz.gazprom.ru,*  
*M.Vaskov@samaratransgaz.gazprom.ru*

Наиболее технологичным способом диагностики газопроводов является внутритрубная дефектоскопия, с помощью которой можно выявлять плоскостные дефекты глубиной от 15 % толщины стенки трубы. Исходя из практики, до 92 % обнаруженных при всех видах неразрушающего контроля стресс-коррозионных дефектов имеют глубину менее 10 % толщины стенки трубы. Поэтому необнаруженные трещины (менее 15 % толщины стенки), в том числе коррозионное растрескивание под напряжением (КРН), в начальной стадии могут присутствовать во многих трубопроводах Единой системы газоснабжения, даже там, где проводилась внутритрубная диагностика.

Отраслевые нормы браковки дефектов зачастую не допускают эксплуатации объектов, содержащих стресс-коррозию. Вместе с тем условия эксплуатации газотранспортного комплекса не всегда позволяют провести незамедлительный ремонт каждого выявленного дефекта КРН.

При диагностическом обследовании выходных шлейфов КЦ-1 КС «Соковка» ООО «Газпром трансгаз Самара» обнаружены зоны со стресс-коррозионным растрескиванием. Были отобраны образцы, содержащие трещины. В ходе определения характера разрушения образцы подвергались микроскопическому, металлографическому, спектрометрическому анализам, а также определялись химические составы основного металла и продуктов коррозии в различных зонах. При исследованиях в вершине раскрытой трещины были обнаружены усталостные бороздки. Исходя из их размеров следует, что на процесс развития стресс-коррозионных дефектов оказывали влияние циклические изменения внутренних кольцевых напряжений в стенке трубы, инициированные пульсацией давления газа в газопроводе при работе ГПА. При обследовании образцов замерялись длины и величины раскрытия трещин на шлифованной поверхности. Установлено, что между шириной раскрытия и длиной трещины существует закономерная связь. Простое статистическое обобщение в масштабах 100 обследованных образцов показало, что отношение длины трещины к ширине ее раскрытия можно описать как 10:1. Все трещины в раскрытых образцах оказались сходной глубины (250–500 мкм), что позволяет предположить наличие статистической связи между глубиной трещины, ее длиной и раскрытием. Если подобная зависимость подтвердится в статистически значимом числе случаев КРН, то возможно составить модель скорости роста трещины в известных условиях нагружения трубопровода, а также методику неразрушающей оценки глубины и степени опасности трещины. Подобный подход может стать основой для методов определения остаточного ресурса трубопроводов, содержащих стресс-коррозионные дефекты на начальном этапе развития.

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ПРЕДШЕСТВУЮЩЕГО ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

*Д.Е. Гладков, Э.Р. Мурсалов  
(ОАО «СевКавНИПИгаз»)  
gladkovDE@scnipigaz.ru*

Решение вопроса коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) магистральных трубопроводов особенно важно для развития трубопроводного транспорта. Вместе с ростом объемов транспортируемых продуктов, увеличением диаметров и давления трубопроводов необходимо уделять первоочередное внимание повышению надежности и безопасности, а также безаварийности трубопроводных систем.

КРН является результатом суммарного воздействия на металл трубы очагов точечной коррозии и растягивающих напряжений в стенке трубы. Предположительно этот процесс может развиваться в двух направлениях:

- растягивающее напряжение разрушает трубу на уровне хрупких границ зерен металла, что делает его более податливым для коррозии, развитие которой в структуре металла происходит гораздо стремительнее. Это в свою очередь сказывается на прочностных характеристиках трубопровода;

- пораженный коррозией, ослабленный металл трубы подвергается напряжению, в результате чего появляются трещины.

В любом из случаев стремительно протекающий процесс КРН достигает критического момента, и происходит физическое разрушение трубы.

Для предотвращения таких последствий необходимо на каждом этапе создания нового трубопровода уделять должное внимание этому вопросу. Проектные решения должны учитывать опыт эксплуатации существующих трубопроводных систем и минимизировать возможность коррозионного растрескивания, что в свою очередь будет выступать гарантом надежности трубопровода в целом.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИНОПОДОБНЫХ ДЕФЕКТОВ ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

*А.Е. Ремизов*  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)  
*A\_Remizov@vniigaz.gazprom.ru*

На основании анализа трещиноподобных дефектов труб испытательного стенда ООО «Газпром ВНИИГАЗ» выявлена зависимость длины наиболее глубоких трещин в скоплении от общей протяженности скопления. В скоплениях трещин протяженностью менее 200 мм максимальная длина наиболее глубоких трещин составляет от 3–5 до 10–15 мм. Поскольку требования ОАО «Газпром» регламентируют выявление сканерами-дефектоскопами дефектов глубиной более 10 % толщины стенки трубы и протяженностью более 20 мм, то с целью повышения эффективности выявления трещиноподобных дефектов в скоплениях при испытаниях диагностического оборудования предложена проверка выявления сканерами-дефектоскопами скоплений трещин общей протяженностью более 200 мм. Данный критерий был принят на основании зависимости длины наиболее глубоких трещин в скоплении от общей протяженности скопления, определенной по результатам детального неразрушающего контроля.

Для повышения эффективности оценки геометрических параметров дефектов выполнено исследование трещиноподобных дефектов испытательного стенда на предмет выявления зависимости глубины дефектов от их длины. Внедрение достоверной модели зависимости в алгоритмы обработки дефектоскопической информации сканеров-дефектоскопов позволит повысить точность определения размеров обнаруженных дефектов.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ФРАГМЕНТОВ ТРУБ, ПРЕДРАСПОЛОЖЕННЫХ К КОРРОЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ**

*А.Ю. Михалёв  
(ОАО «Гипрогазцентр»),  
Д.В. Липкин  
(ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород»)  
mikhalev@ggc.nnov.ru*

В ряде научных работ современных исследователей отмечаются особенности возникновения дефектов коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) по поверхности труб. Обнаружены зависимости между взаиморасположением стресс-коррозионных трещин и дефектов изоляционного покрытия, толщиной стенки, типом и способом изготовления труб. Информация о возможных местах возникновения КРН является полезной при определении порядка и объемов диагностических и ремонтных работ. Вместе с тем очевидно, что для выявления фрагментов труб, предрасположенных к КРН, непосредственно на объекте и последующего принятия решений недостаточно статистической информации – существует необходимость разработки новых методов выявления и локализации таких фрагментов.

Проанализирована информация о дефектах КРН, выявленных по результатам внутритрубной диагностики (ВТД) газопроводов ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» за 15-летний период. По результатам оценки вероятности возникновения дефектов были выявлены наиболее подверженные КРН участки труб. Для экспериментального определения возможности выявления фрагментов труб, предрасположенных к стресс-коррозии, на поврежденных трещинами КРН трубных элементах проводились измерения твердости с малой нагрузкой с последующей оценкой дисперсии и определение химического состава металла с помощью оптико-эмиссионного спектрографа. Установлено, что фрагменты, поврежденные КРН, характеризуются избыточной неоднородностью химического состава и гетерогенностью структуры, оцениваемой по дисперсии ТМН (твердости с малой нагрузкой). Отмечено повышение вышеуказанной неоднородности на фрагментах, определенных в качестве предрасположенных к стресс-коррозии по результатам анализа результатов ВТД.

## **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТРЕЩИН КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ НА РАННЕЙ СТАДИИ ИХ РАЗВИТИЯ НА ТРУБАХ ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

*С.И. Погуляев*  
(ООО «Газпром трансгаз Ухта»)  
*spoguliaev@sgp.gazprom.ru*

Обнаружение трещин коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) ограничивается чувствительностью диагностического оборудования, используемого в настоящее время. Так, минимальный порог обнаружения трещин внутритрубными дефектоскопами составляет 10–15 %, а различные диагностические приборы при обследовании наружной поверхности трубы не позволяют гарантированно определять глубину трещиноподобного дефекта с необходимой точностью для оценки степени его опасности и назначения метода ремонта. Вместе с тем трещины КРН обладают свойством ускоренного непредсказуемого развития со временем, что в совокупности с трудностями их идентификации и обнаружения является угрозой надежной эксплуатации труб магистральных газопроводов.

В рамках данного доклада представлен сравнительный анализ результатов внутритрубной дефектоскопии, обследований трещин КРН разрушающими методами в шурфах и в лабораторных условиях на теплотах труб. Рассмотрены основные внешние и внутренние идентификационные признаки трещин КРН. Также выполнен анализ свойств металла труб в зонах дефектов КРН и вдали от них на основе результатов, полученных при испытаниях на статическое растяжение, ударный изгиб и послойном контроле твердости; обследований микроструктуры металла и оптико-эмиссионной спектроскопии. Дополнительно представлены результаты фрактографического обследования и повторно-статического нагружения образцов с контролем роста размеров трещин при различных уровнях механических напряжений, раскрывающие особенности развития трещин КРН.



## **ОСОБЕННОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ НА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ СРЕДСТВАМИ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКИ**

*А.С. Пластинин, И.А. Соловых, А.В. Губин, Д.А. Ковтунов  
(ОАО «Оргэнергогаз»)  
saroeq.aplastinin@oeg.gazprom.ru*

Современные средства внутритрубной диагностики (ВТД) на основе магнитного метода.

Преимущества магнитного метода ВТД.

Состав комплекса ВТД.

Особенности анализа и обработки данных комплексного обследования участка магистрального газопровода средствами ВТД.

Особенности однозначной идентификации коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) при наличии сопутствующих дефектов.

Использование в аналитической работе данных контрольных шурфовок и ремонтов, проведенных после ВТД.

Факторы, способствующие повышению достоверности выявления КРН.

## **АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УЧАСТКОВ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ И ТРУБОПРОВОДНОЙ ОБВЯЗКИ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ СУРГУТ», ПОДВЕРЖЕННЫХ КОРРОЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ**

*А.А. Олейник, Н.А. Соловьев, Е.Ю. Спиридонов  
(ООО «Газпром трансгаз Сургут»)  
SpiridonovEYU@surgut.gazprom.ru*

В настоящее время обеспечение надежной и безопасной эксплуатации магистральных газопроводов ОАО «Газпром», подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН), остается актуальным вопросом.

В докладе представлены результаты анализа и систематизации данных технического состояния линейной части магистральных газопроводов (ЛЧМГ), трубопроводной обвязки компрессорных станций ООО «Газпром трансгаз Сургут» на основании диагностических обследований (наземного обследования, в шурфах, внутритрубной диагностики) при капитальном ремонте и эксплуатации.

Инженерно-технический центр ООО «Газпром трансгаз Сургут» совместно с ЦСЛ «Трубнонадзор» в целях оценки работоспособности и прогнозирования остаточного ресурса безопасной эксплуатации участков ЛЧМГ провели лабораторное исследование бездефектного металла труб. Для этого были вырезаны образцы с различных участков ЛЧМГ ООО «Газпром трансгаз Сургут». Исследование проводили в два этапа:

1) определяли физико-механические характеристики металла труб с текущим сроком эксплуатации (механические статические, механические динамические, релаксационные испытания);

2) выполняли оценку аналогичных показателей «восстановленного» металла труб (восстановление проводилось по запатентованной технологии ЦСЛ «Трубнонадзор»).

## **ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ В ШУРФАХ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ В ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ САРАТОВ»**

*А.А. Иванов*  
(ООО «Газпром трансгаз Саратов»)  
*Ivanov\_a.a.85@mail.ru*

В соответствии с письмом ОАО «Газпром» от 10.07.2012 г. № 03/0800/2-3888 «О повышении эффективности мероприятий по выявлению и устранению дефектов на технологических трубопроводах компрессорных станций» специалистами Инженерно-технического центра ООО «Газпром трансгаз Саратов» выполнен следующий комплекс мероприятий.

1. Разработан, утвержден и выполнен план мероприятий в соответствии с требованиями циркулярных писем.

2. Разработаны масштабированные схемы технологических трубопроводов, соответствующие их действительному расположению, а также действительному расположению соединительных деталей трубопроводов и арматуры в формате AUTOCAD.

3. Разработана, утверждена и выполнена программа шурфовок технологических трубопроводов всех компрессорных станций на 2012–2013 гг. с указанием мест шурфов на схемах согласно требованиям СТО Газпром 2-2.3-412-2010.

4. Организовано и проведено диагностическое обследование технологических трубопроводов в шурфах в соответствии с разработанной программой шурфовок и нормативной документацией.

5. По результатам проведенных диагностических обследований подготовлен отчет.

Диагностическое обследование проведено специалистами лаборатории технической диагностики ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Саратов».

## ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИН В ЗОНАХ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ ШВОВ СРЕДСТВАМИ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКИ

*А.Н. Кукушкин, С.Л. Ваулин  
(ЗАО «НПО «Спецнефтегаз»)  
Kukushkin@gazinfo.com*

Наиболее опасный вид дефектов труб в газопроводах большого диаметра – трещины типа КРН (коррозионное растрескивание под напряжением), возникающие вследствие высоких напряжений в трубопроводе. При кольцевых напряжениях от внутреннего давления в трубе возникает продольное КРН; при изгибных напряжениях, превышающих кольцевые, – поперечное КРН. При этом примерно 30 % всех выявленных внутритрубной дефектоскопией (ВТД) трещин были расположены в зонах кольцевого или продольного сварных швов.

Для решения задачи выявления трещин в ЗАО «НПО «Спецнефтегаз» осуществлена модернизация датчиковой системы снарядов – дефектоскопов продольного и поперечного намагничивания (в 1,5–3,0 раза увеличено количество измерительных датчиков, а также уменьшено расстояние от оси датчика до внутренней поверхности тела трубы). Можно говорить о чувствительности ВТД к трещинам в зонах сварных швов глубиной 20–25 % толщины стенки трубы. Задача идентификации трещин в последнее время успешно решается путем использования при анализе большего количества данных, характерных для объекта контроля, и выделения потенциально опасных участков, подверженных КРН. Например, при анализе магнитограмм двухшовных труб проводится подробный анализ околошовной зоны. Наиболее характерным участком труб, подверженным продольному КРН, может стать участок с тонкими трубами среди толстых, а также трубы, расположенные слева и справа от замененного участка по данным предыдущих ВТД. Установлено, что поперечное КРН на теле трубы и в зонах кольцевых швов образуется на отводах холодного гнутья, а также на участках с непроектными упругопластическими изгибами трубопровода радиусом 250–300 D.

ЗАО «НПО «Спецнефтегаз» предоставляет в отчетах ВТД информацию об отводах холодного гнутья, крутоизогнутых и сегментных отводах, а также указывает радиус, угол и ориентацию выпуклости отвода. Модернизация навигационной системы снаряда, включающей акселерометры, гироскопы и одометры, а также методику обработки данных, позволила рассчитывать кривизну трубопровода, проводить оценку его напряженно-деформированного состояния (НДС) от изгиба и выделять потенциально опасные участки для развития поперечных трещин. Проведенная работа по оценке НДС на участках трубопроводов ООО «Газпром трансгаз Уфа» за 2013–2014 гг. позволила выявить более 30 очагов поперечного КРН и одиночных трещин, часто выходящих в зону кольцевого сварного шва. Средствами ВТД была обнаружена поперечная трещина на кольцевом шве на входе в компрессорную станцию Полянского ЛПУ МГ. Изгиб трубопровода составил около 300 D, а оценочное напряжение превышало предел текучести. Известно, что конструкцию разрушают напряжения, которые способствуют возникновению новых и развитию существующих дефектов. Поэтому выявление и расчет зон повышенных напряжений позволит не только снизить аварийность трубопроводов, но и более точно оценить остаточный ресурс дефектных труб.

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ПО ДИАГНОСТИЧЕСКОМУ СОПРОВОЖДЕНИЮ  
ОБЪЕКТОВ КОМПЛЕКСНОГО РЕМОНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ТРУБОПРОВОДОВ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ ОАО «ГАЗПРОМ»  
ЗА ПЕРИОД 2007–2014 ГГ.**

*М.Б. Исмагилов  
(ООО «ЭНТЭ»  
m.ismagilov@ente-ltd.ru*

Обследование технологических трубопроводов компрессорных станций (ТТКС) при диагностическом сопровождении комплексного ремонта на сегодняшний день является единственным инструментом, дающим объективную оценку состояния объекта в целом.

Необходимо отметить, что с течением времени происходит рост количества и качества опасных дефектов, что приводит к значительному уменьшению остаточного срока безопасной эксплуатации ТТКС. Данное обстоятельство, прежде всего, связано с наличием на технологических трубопроводах дефектов типа коррозионного растрескивания под напряжением, развитие которых происходит без видимых нарушений контролируемых условий эксплуатации до момента достижения трещинами критических размеров.

Вышеуказанные обстоятельства определяют необходимость планомерного проведения диагностических работ ТТКС, по результатам которых можно оценить техническое состояние, что позволит сохранить показатель эксплуатационной надежности ТТКС на заданном уровне. При комплексном ремонте ТТКС требуется своевременное и качественное выполнение всех этапов работ (строительно-монтажных работ, экспертно-диагностического сопровождения и пр.).

## **ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТРЕСС-КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

*С.С. Машуров, Д.М. Мирзоев, Г.М. Мирзоев, М.С. Иващенко  
(ЗАО «Аэрокосмический мониторинг и технологии»),*

*И.В. Ряховских  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)  
mdm@amt-rus.com*

Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН), или стресс-коррозия – процесс макрохрупкого трещинообразования на поверхности труб, вызванный совместным влиянием трех групп факторов: металлургического и деформационного состояния металла, обуславливающего его восприимчивость к растрескиванию; воздействия специфической внешней среды и наличия растягивающих тангенциальных напряжений, превышающих пороговую для параметров трубопровода величину.

Благодаря многочисленным исследованиям КРН сформированы модельные представления об этом явлении, согласно которым решающую роль в процессе растрескивания под напряжением играют внешние факторы, воздействующие на магистральные газопроводы (МГ) в процессе их эксплуатации.

Так, в средах, провоцирующих КРН трубопроводов, общая коррозия развивается вяло. И наоборот, среды, обнаруживающие очень сильную коррозионную агрессивность (проявляется в общей и некоторых формах питтинговой коррозии сплавов), как правило, не способны вызвать КРН. Поэтому, говоря о коррозионной агрессивности среды, подразумевается ее способность вызывать КРН.

Способность некоторых сред стимулировать КРН часто связана с присутствием в них определенных концентраций специфических химических веществ. Поэтому участки МГ, предрасположенные к стресс-коррозии, характеризуются гидрологическими особенностями местности и ее флорой, которые возможно обнаружить по результатам визуального осмотра (к примеру, по материалам аэрокосмической съемки).

При КРН воздействию внешней среды подвергаются лишь те участки МГ, которые по сравнению с соседними участками деформированы в наибольшей степени, что связано с их прокладкой в контрастных грунтах и на участках с переменным рельефом местности.

Предлагается использовать технологию геотехнической диагностики (ГТД) по материалам аэрокосмической съемки в качестве инструмента получения информации о ключевых факторах внешней среды при прогнозировании и оценке стресс-коррозионного состояния газопровода.

Представленный в докладе анализ факторов КРН показал, что свыше 20 % информации, необходимой для определения степени опасности стресс-коррозии на участках газопровода согласно СТО Газпром 2-2.3-173-2007, возможно получить по результатам ГТД.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ДИАГНОСТИКИ ПЕРЕМЫЧЕК ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ВОЛНОВОДНЫМ МЕТОДОМ**

*А.В. Дурейко, М.В. Заец*  
(ООО «Акустические Контрольные Системы»),  
*А.Н. Кадров*  
(ЗАО «ИнтроСкан Технолоджи»)  
*dureyko@acsys.ru*

Перемычки между нитками линейной части магистральных газопроводов (ЛЧМГ) относятся к участкам повышенной опасности. Но в отличие от линейных участков перемычки не контролируются внутритрубными приборами-дефектоскопами. Если использовать стандартные технологии контроля тела трубы перемычек, то необходимо выполнять дорогостоящие земляные работы и полную очистку поверхности трубы.

Существует ультразвуковой (УЗ) метод, при котором ультразвуковые волны распространяются в контролируемом объекте, как в волноводе, что дает возможность обнаруживать дефекты на значительном расстоянии от места установки УЗ преобразователей. Впервые на практике данный метод был применен для контроля рельсов. Дефекты обнаруживались на расстоянии до 50 м от места установки преобразователей. Тело трубы также представляет собой подобный волновод, поэтому применение данного метода для контроля перемычек ЛЧМГ позволит значительно снизить объем земляных и очистных работ.

В докладе приведены результаты выполненных исследований, посвященных выбору способов возбуждения и приема УЗ колебаний, типа и параметров УЗ волн, конструкции пьезоэлектрических преобразователей и антенных решеток на их основе, приведены алгоритмы обработки принятых сигналов. Содержатся результаты экспериментов, выполненных на реальных трубах с изоляцией и без нее. Выполнена оценка предельной чувствительности волнового метода с выбранными параметрами.

**ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ БЕСКОНТАКТНОГО  
УЛЬТРАЗВУКОВОГО СКАНЕРА-ДЕФЕКТОСКОПА A2075 SONET  
ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА ТЕЛА ТРУБ  
МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

*Ю.А. Цыгасов, В.А. Суворов, А.А. Самокрутов  
(ООО «АКС-Сервис»  
info@acs-service.ru*

В докладе представлено описание принципа действия сканера-дефектоскопа A2075 SoNet, элементов конструкции различных поколений прибора, отражен пятилетний опыт применения сканера-дефектоскопа на различных участках газотранспортной системы России. Приведены примеры образцов, полученных от различных типов дефектов, включая коррозионное растрескивание под напряжением. Рассмотрена методика работы со сканером, утвержденная ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

Сканер-дефектоскоп ультразвуковой бесконтактный A2075 SoNet предназначен для автоматизированного контроля основного металла труб диаметром от 720 до 1420 мм с толщиной стенки от 6 мм при диагностике магистральных газопроводов в процессе капитального ремонта. Сканер обеспечивает выявление в основном металле трубы стресс-коррозионных и коррозионных дефектов, механических повреждений, а также дефектов проката листа с указанием их количества, условных размеров и координат. Благодаря применяемой технологии электромагнитно-акустического преобразования контроль производится без использования контактной жидкости.



## **РЕГИСТРАЦИЯ ВНУТРИТРУБНЫМ ЭМА-ДЕФЕКТОСКОПОМ ОТСЛОЕНИЙ ИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ КАК ОДНОГО ИЗ ФАКТОРОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ**

*А.И. Михайлов, В.В. Лопатин, В.Е. Лоскутов  
(ЗАО «НПО «СПЕКТР»)  
a.mikhailov@s-n-g.ru*

Возникновение и развитие коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) в магистральных газопроводах (МГ) часто связывают с нарушением наружного изоляционного покрытия. Учитывая опасность, связанную со стресс-коррозионной повреждаемостью магистральных газопроводов, выявление условий ее возникновения, а также прогнозирование ремонтов газопроводов является современной и важной задачей.

Один из способов, позволяющих осуществлять диагностику качества изоляционного покрытия МГ, – использование электромагнитно-акустических (ЭМА) внутритрубных дефектоскопов. Работа такого типа дефектоскопа основана на чувствительности ультразвуковых волн к виду границы раздела металл–воздух, металл–жидкость, металл–полимер.

В 2007 г. ЗАО НПО «Спецнефтегаз» разработан ЭМА-дефектоскоп, трассовые испытания которого показали принципиальную возможность определения качества адгезии и типа изоляции.

К 2015 г. было разработано и выпущено пять поколений ЭМА внутритрубного оборудования. Совершенствование ЭМА-преобразователей позволило разработать дефектоскоп толщиномер-детектор изоляции нового типа, функционирование которого основано на применении объемной акустической волны. При этом развертка сигнала во времени представляет собой совокупность донных импульсов, по изменению времени между которыми рассчитывается толщина металла под датчиком, а по степени затухания амплитуды сигнала определяется наличие изоляционного покрытия на противоположной стенке трубопровода.

# **ПЛАНИРОВАНИЕ ОЖИДАЕМОГО КОЛИЧЕСТВА ОТБРАКОВАННОЙ ТРУБЫ В ПРОЦЕССЕ ПРОВЕДЕНИЯ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА НА ОБЪЕКТАХ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ ЮГОРСК» В УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ**

*Н.А. Качулин, В.А. Бельснер  
(ООО «Газпром трансгаз Югорск»)  
kachulin@itc.ttg.gazprom.ru*

При проведении капитального ремонта (КР) линейной части магистральных газопроводов (ЛЧМГ) методом переизоляции в течение последних лет наблюдается увеличение объемов замены трубной продукции, связанное с вырезкой труб с трещиноподобными дефектами, обнаруженными по результатам предремонтной диагностики. Планирование объема замены труб на основании данных внутритрубной диагностики (ВТД) стало невозможно, так как глубина большинства выявленных при КР дефектов (80 % и более) находилась ниже порога обнаружения прибора-дефектоскопа (до 15 % толщины стенки трубы).

Отсутствие корреляции объемов замены трубы с результатами ВТД повлекло за собой необходимость разработки Методики планирования на основании статистических данных, полученных по результатам предремонтной диагностики на участках-аналогах.

Согласно разработанной Методике расчет ожидаемого объема отбракованной трубы производится с учетом двух основных составляющих: ожидаемого объема замены труб с дефектами коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) на основании статистических данных; ожидаемого объема замены труб по результатам ВТД с коррозионными повреждениями и дефектами кольцевых сварных швов. Методика позволяет выполнять расчет предполагаемого объема вовлеченной трубы с отремонтированными дефектами КРН на объектах КР с учетом письма Департамента капитального ремонта «О разворачивании ремонтных баз».

Апробация Методики была выполнена на объектах КР ЛЧМГ в 2014 г. и использована для расчетно-аналитического обоснования объемов замены труб при планировании Программы КР ЛЧМГ на 2016 г. в связи с удовлетворительной сходимостью.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТА ГАЗОПРОВОДОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ КОРРОЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

*В.В. Подольская*  
(ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург»)  
*ltp-utg@chel.surnet.ru*

Управление техническим состоянием магистральных газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН), в ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» осуществляется при наличии эксплуатационных потоковых ограничений, раскладки труб из стали марки 17Г2АФ и спиральношовных труб, предрасположенных к КРН. Поэтому при оценке технического состояния и планировании ремонта возникают следующие проблемы:

- недостаточная степень надежности выявления и идентификации трещиноподобных дефектов различного типа в ходе внутритрубной диагностики (ВТД) и при обследовании в шурфах;
- неоднозначность прогностических критериев для выделения границ участков, где развития КРН не происходит;
- появление областей трещин специфической морфологии на трубах из стали 17Г2АФ и на спиральношовных трубах, расположенных на участках, где отсутствуют типичные природные условия и диагностические признаки развития КРН;
- невозможность оценки фактического технического состояния, установления приоритетов и выбора технологий ремонта участков газопроводов, поврежденных КРН, по алгоритмам и комплексным показателям технического состояния согласно СТО Газпром 2-2.3-292-2009, СТО Газпром 2-2.3-750-2013.

Целью оптимизации является построение процессов оценки технического состояния и планирования ремонта газопроводов, подверженных КРН, реализующее минимальные суммарные затраты за счет разработки программ и планов-графиков ремонта, адекватных степени поврежденности газопроводов КРН, сокращения срока формирования программ, обеспечения соответствия планируемых показателей ремонта фактическим. Для достижения цели в докладе рассмотрены пути и результаты решения следующих задач:

- разработки специализированного алгоритма оценки технического состояния и планирования ремонта газопроводов, подверженных КРН;
- построения информационной модели автоматизированной системы оценки технического состояния и планирования ремонта газопроводов 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;
- создания на основе информационной модели компьютерной программы, реализующей экспертные функции обоснования приоритетности и детального планирования ремонта.

## МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ КОРРОЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

*В.В. Романов, Р.З. Садыков  
(ООО «Газпром трансгаз Казань»)  
v-romanov@tattg.gazprom.ru,  
r-sadykov@tattg.gazprom.ru*

До недавнего времени наиболее эффективным методом борьбы с коррозионным растрескиванием под напряжением (КРН) было проведение диагностирования и ремонта труб в три этапа:

- выявление КРН по результатам диагностики;
- оценка опасности и остаточного ресурса;
- ремонт по результатам оценки.

На каждом из трех этапов возникают трудности: выявляются не все дефекты КРН; появляются сложности при определении геометрии дефектов с учетом их взаимодействия для последующей оценки опасности и остаточного ресурса; с каждым годом растет объем шурфовочных и ремонтных работ. При этом динамика аварийности по причине КРН не имеет четкой тенденции к снижению, а доля аварийных разрушений по причине КРН только растет. Данные факты свидетельствуют о необходимости разработки мероприятий по предотвращению появления и развития КРН.

В докладе выдвинута гипотеза о способе повышения надежности магистральных газопроводов путем проведения стабилизации трещин по механизму КРН и снижению вероятности образования КРН путем регулирования потенциалов катодной поляризации.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ СТРЕСС-КОРРОЗИОННОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ

*А.Ю. Тихвинская, С.Н. Савеня, Д.В. Фролов*  
(НОУ СПО «Волгоградский колледж газа и нефти» ОАО «Газпром»)  
*nastushok@yandex.ru*

В докладе рассматриваются проблемы безопасной эксплуатации магистральных газопроводов (МГ) Единой системы газоснабжения в условиях стресс-коррозионной повреждаемости.

Стресс-коррозия проявляется в виде колоний трещин, развитие которых приводит к протяженным разрывам. Изложенные доводы, факты и обоснования на основе выполненных практических исследований позволяют констатировать следующее:

– проблема стресс-коррозии на действующих МГ относится, прежде всего, к числу проблем коррозионно-механического разрушения сталей и сплавов и должна решаться с учетом закономерностей протекания процессов деградации и разрушения конструкционных материалов, работающих в условиях переменного нагружения и воздействия агрессивных сред;

– на основе применения обобщающих коэффициентов, характеризующих суммарное воздействие основных негативных факторов (напряженно-деформированного состояния, коррозионной агрессивности грунта и состояния изоляционного покрытия), следует обеспечить выделение потенциально опасных участков газопровода, наиболее подверженных стресс-коррозии;

– работы по профилактике стресс-коррозионного разрушения необходимо включить в обязательный комплекс изысканий для проектных институтов при выборе трассы прохождения новых газопроводов.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОПРОВОДОВ  
В ОБЛАСТИ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ  
НИЖНИЙ НОВГОРОД»**

*Д.В. Липкин*

*(ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород»),*

*А.Ю. Михалёв*

*(ОАО «Гипрогазцентр»)*

*lipkindv@vtg.gazprom.ru*

Большая часть газопроводов, обслуживаемых ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород», не оборудована для проведения внутритрубной диагностики (ВТД) и предусматривает разработку механизмов управления надежностью.

Анализ проведенных ВТД и текущих ремонтов на оборудованных камерами участках показал безусловное повышение уровня надежности эксплуатации газопроводов. Качественная диагностика влияет на приоритетность вывода в капитальный ремонт и подчиняется принципу: выявление участка трубопровода с трещинами КРН предполагает наличие менее развитых трещин на соседних участках. Устранение дефектов влияет на текущий уровень технического состояния при условии высокой сходимости результатов ВТД на одном участке в различных временных периодах.

Исторически так сложилось, что участки, подверженные коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН), располагаются на линейной части технологического коридора Уренгой – Помары – Ужгород. Соответственно, планирование работ по обеспечению надежности предусматривало формирование планов капитального ремонта на газопроводах данного коридора. Результаты отбраковки при капитальном ремонте привели к значительному увеличению объема ремонта трубы заменой по причине обнаружения не выявленных при проведенных диагностических обследованиях трещин КРН.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ В РЕГИОНАХ С ВЫСОКОЙ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТЬЮ К СТРЕСС-КОРРОЗИИ

*А.В. Мельникова, И.В. Ряховских, Р.И. Богданов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)  
A\_Melnikova@vniigaz.gazprom.ru*

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 в 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.

Цель выполненной работы – обоснование работоспособности труб с дефектами КРН при условии замены защитного покрытия труб и, как следствие, исключение доступа грунтового электролита к поверхности металла трубы.

Оценка работоспособности труб с дефектами КРН выполнена по методике классификации стресс-коррозионных дефектов по степени опасности, основанная на оценке прочности труб с учетом геометрической формы дефекта, стадии его развития и свойств металла труб. Прочность труб с дефектами КРН определена с использованием двухпараметрического критерия разрушения в форме инженерного метода R6. По результатам расчетов предельных и безопасных размеров дефектов КРН построены номограммы условно допустимых и предельных значений стресс-коррозионных трещин.

Для подтверждения выполненных расчетов разработана комплексная программа испытаний, включающая: стандартные механические испытания образцов; лабораторные испытания полнотолщинных образцов-моделей на прочность в условиях, имитирующих эксплуатационные по методике ООО «Газпром ВНИИГАЗ»; натурные гидравлические испытания труб и трубных плетей. Испытания выполнены на базе ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Чайковский», металлографические исследования – на базе ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина».

По результатам выполненных испытаний установлено 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. В свою очередь электрохимическая составляющая процесса КРН исключается за счет нанесения в трассовых условиях нового защитного покрытия на поверхность поврежденного стресс-коррозией металла труб.

## **РАЗРАБОТКА ИНГИБИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ЦЕЛЬЮ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РИСКА КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ**

*М.А. Малеева, М.А. Петрунин, А.И. Маршаков,  
В.Э. Игнатенко, А.В. Шапагин, Ю.И. Кузнецов  
(ИФХЭ РАН),  
Р.И. Богданов  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)  
marina.maleeva@gmail.com*

Предупреждение коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) внешней стенки трубопроводов остается одной из наиболее актуальных проблем. В связи с этим перспективна задача создания антикоррозионных защитных покрытий, которые должны изолировать металл от воздействия агрессивной среды и способствовать предупреждению повторного развития стресс-коррозионных дефектов.

В докладе приводятся результаты коррозионно-механических испытаний образцов трубных сталей с различными типами ингибирующих композиций (ИК). Выполнена оценка влияния ИК на рост трещины при статической нагрузке в модельном грунтовом электролите (рН = 5,5) и на трещиностойкость стали при медленном растяжении в модельном подпленочном электролите NS4 (рН = 7,0). Испытания проводились в средах, содержащих и не содержащих сероводород.

Проведена оценка адгезионной прочности, водостойкости, стойкости к катодному отслаиванию адгезионных соединений, полученных при существующей технологии изоляции трубопроводов в полевых условиях и с использованием новых способов обработки поверхности трубы. Показано, что введение кремнийорганических соединений в ИК повышает антикоррозионные и адгезионные свойства изоляционных покрытий.

Рекомендованы наиболее перспективные ИК для проведения стендовых и трассовых испытаний.



## **ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ СТАЛИ Х70 ПОД ПОКРЫТИЯМИ С ПОМОЩЬЮ ИНГИБИТОРОВ**

*Г.В. Редькина, Ю.А. Кузенков, А.А. Чиркунов  
(ИФХЭ РАН)  
GVRedkina@mail.ru*

Предотвращение коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) внешней стенки магистральных газопроводов по-прежнему является актуальной проблемой. Об этом свидетельствуют как опыт эксплуатации газопроводов высокого давления, так и статистика аварийных ситуаций в газотранспортной системе ОАО «Газпром». В связи с этим создание антикоррозионных защитных покрытий нового типа, способных не только изолировать металл от воздействия агрессивной среды, но и предупреждать повторное развитие стресс-коррозионных дефектов, является важнейшей научно-практической задачей.

В докладе предложен новый способ защиты трубной стали введением в состав покрытия ингибиторов КРН. Они способны образовывать тончайшие (наноразмерные) слои, значительно снижающие риск развития КРН в случае нарушения целостности изолирующего покрытия и контакта металла трубы с грунтовым (подпленочным) электролитом.

Показано, что ингибиторы КРН (на основе азотсодержащих соединений, силанов, фосфорномолибденовой кислоты), вводимые в состав грунтовочного покрытия, замедляют электрохимические процессы на трубной стали, следовательно, и развитие трещины, а нередко также ее зарождение. Эффективность метода подтверждается представленными результатами исследования влияния этих ингибиторов на скорость роста трещины в трубной стали и оценкой кинетики их выхода из защитных покрытий в средах, имитирующих грунтовой электролит.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ДРОБЕМЕТНОЙ/ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ В ТРУБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*М.Ю. Стародубцев*  
(ООО «Центр Современных Технологий»)  
*sib@cst-prom.ru*

Основная задача при дробеметной/дробеструйной обработке металлической поверхности – получение качественной адгезии, которая в свою очередь зависит от шероховатости и чистоты поверхности.

Для решения данных вопросов производственные предприятия применяют ряд таких классических регламентированных технологических решений, как промывка в дионизированной и дистиллированной воде, термообезжиривание. При всех достоинствах данные методы имеют свою технически определенную эффективность и довольно затратны. Порой даже при соблюдении всех норм в абразивный материал продолжают попадать жировые загрязнения, что негативно сказывается на адгезии.

Вопрос получения высокой адгезии до сих пор очень актуален, поэтому исследования в данной области продолжают, появляются новые технологии. Для достижения требуемых показателей адгезии при меньших затратах разработана технология Pantatec, заключающаяся в отделении жировых загрязнений от абразивного материала и выводе их штатными системами сепарации с помощью аддитивной добавки на минеральной основе.

Присадка прошла испытания в НИИ исследований в области технологий и прикладного материаловедения IFAM (г. Бремен, Германия). Будучи разработанной для нужд конкретного предприятия, данная технология оказалась настолько универсальной, что стала широко применяться многими предприятиями, занимающимися металлообработкой и нанесением покрытий.

## **ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА ОБЪЕКТАХ УРЕНГОЙСКОГО ГАЗПРОМЫСЛОВОГО УПРАВЛЕНИЯ**

*А.А. Галездинов  
(ООО «Газпром добыча Уренгой»)  
ghostboy@inbox.ru*

Основные производственные объекты Уренгойского газопромислового управления были построены в 1980–1990-е гг. В связи с этим в настоящее время наблюдается износ производственных коммуникаций, в частности трубопроводов для транспорта газа, метанола, конденсата, ДЭГа, воды, пара, производственных и хозяйственных стоков. Использование трубопроводов из металлических труб на протяжении долгих лет ведет к коррозии, образованию свищей, что увеличивает риск аварий на трубопроводах.

В докладе проанализированы результаты мониторинга продукции российских и иностранных производителей полимерных трубопроводов. Основное внимание в работе уделяется технологии санации трубопроводов по методу «труба в трубе». Изложенная методика заключается в протаскивании высокопрочного полимерного рукава внутри старой трубы. В результате определенных технологических операций трубопровод становится фактически новым, но несколько меньшего диаметра. Данный способ позволяет ремонтировать изношенные трубопроводы транспорта воды, производственных и хозяйственных стоков.

Помимо вышеуказанных проблем на Уренгойском НГКМ добыча углеводородного сырья находится на завершающем этапе эксплуатации, что характеризуется снижением устьевых давлений, уменьшением дебитов. В результате снижается скорость газового потока и не обеспечивается вынос жидкости с газосборных коллекторов.

Предлагается применение технологии «труба в трубе» для решения проблем транспортировки флюида с кустов установки комплексной подготовки газа (УКПГ). С помощью этой технологии возможно снижение диаметра газосборного коллектора, что повысит скорость газа и соответственно обеспечит вынос жидкости, песка на УКПГ, тем самым обеспечив стабильный режим работы шлейфа.

Основные преимущества применения технологии санации трубопроводов – это простота и скорость монтажа оборудования, надежность, минимальные земляные работы, приемлемая стоимость.

Научно-практический молодежный семинар

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ,  
ПОДВЕРЖЕННЫХ КОРРОЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ  
ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ**

Корректор  
Обложка, верстка

М.В. Бурова  
И.Ю. Белов

---

Подписано к печати \_\_.04.2015 г.  
Тираж 40 экз. Ф-т 60×84/16.  
Объем: 2,56 усл. печ. л.

---