

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

## **II Научно-практический семинар**

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

**24–26 мая 2016 г.**

Москва 2016

## УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

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

Целью семинара является организация уникальной площадки обмена знаниями в области стресс-коррозии между работниками администрации ПАО «Газпром», руководителями и специалистами производственных подразделений дочерних обществ и организаций ПАО «Газпром», научными работниками вузов, научно-исследовательских институтов, работниками диагностических и ремонтных организаций, производителями инновационной продукции и технологий.

Действующая в настоящее время Система управления техническим состоянием и целостностью МГ ПАО «Газпром» обеспечивает должный контроль за их стресс-коррозионным состоянием. Вместе с тем на фоне продолжающегося старения газотранспортной системы ПАО «Газпром» все большую значимость приобретают вопросы планирования и рационального распределения ресурсов на их техническое обслуживание и ремонт в соответствии с реальной опасностью дефектов в отношении надежности и целостности газопровода. Растет понимание того, что требования к эксплуатации МГ должны отражать современные представления о механизме КРН и учитывать возможности инновационных технологий и материалов.

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 стресс-коррозии, разработке требований к новым видам трубной продукции и защитных покрытий, а также внедрении современного оборудования и технологий для диагностирования и ремонта трубопроводов.



С.В. Нефедов,  
к.т.н., председатель  
программного комитета  
семинара,  
и.о. заместителя  
Генерального директора  
по науке ООО «Газпром  
ВНИИГАЗ»



И.В. Ряховских,  
к.т.н., секретарь  
программного комитета  
семинара,  
начальник лаборатории  
исследования  
процессов  
коррозионного  
растрескивания  
под напряжением  
ООО «Газпром  
ВНИИГАЗ»

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- Нефедов С.В. к.т.н., председатель программного комитета семинара, и.о. заместителя генерального директора по науке ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
- Агиней Р.В. д.т.н., проф., заместитель директора Нижегородского филиала по научной работе ООО «Газпром проектирование»
- Арабей А.Б. к.т.н., начальник отдела 123/1/1 Департамента 123 ПАО «Газпром»
- Абросимов П.В. заместитель начальника ИТЦ по диагностике ООО «Газпром трансгаз Чайковский»
- Баранов А.Д. заместитель Генерального директора по производству ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»
- Баусов С.В. заместитель директора ИТЦ по аналитической работе ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург»
- Вышемирский Е.М. к.т.н. начальник отдела 338/4 Департамента 338 ПАО «Газпром»
- Губанок И.И. к.т.н., заместитель Генерального директора по ремонту трубопроводов и сооружений ООО «Газпром центрремонт»
- Есиев Т.С. к.т.н. начальник лаборатории труб ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
- Зайцев А.И. д.т.н., проф., директор Центра физической химии, материаловедения, биметаллов и специальных видов коррозии ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»
- Запевалов Д.Н. к.т.н., директор Центра технологий строительства, ремонта и защиты от коррозии ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
- Кудря А.В. д.т.н., профессор кафедры металловедения и физики прочности НИТУ «МИСиС»
- Маршаков А.И. д.х.н., проф., заведующий лабораторией коррозии металлов в природных условиях ИФХЭ РАН
- Перлович Ю.А. д.ф.-м.н., проф., ведущий научный сотрудник НИЯУ МИФИ
- Ряховских И.В. к.т.н., секретарь программного комитета семинара, научный редактор спецвыпуска научно-технического сборника «Вести газовой науки», начальник лаборатории исследования процессов коррозионного растрескивания под напряжением ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
- Сахон А.В. главный технолог отдела 308/11/1 Управления 308/11 Департамента 308 ПАО «Газпром»
- Селиванов А.А. заместитель начальника службы ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Югорск»
- Шипилов А.В. начальник отдела 338/9/4 Департамента 338 ПАО «Газпром»

# ПРОГРАММА

## II Научно-практического семинара

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

п. Развилка

ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

24 мая 2016 г., вторник

<b>с 12.00</b>	Заезд участников семинара. Заселение в гостиницу ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
<b>18.00–20.00</b>	Ужин в холле гостиницы ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

25 мая 2016 г., среда

<b>8.30–9.30</b>	Регистрация участников семинара (холл 1 этажа блока «Е»)
<b>9.30–10.00</b>	Открытие семинара. Вступительное слово (ауд. 203, блок «Е»)
<b>Направление 1. Результаты экспериментальных и натурных исследований коррозионного растрескивания под напряжением с учетом особенностей эксплуатации магистральных газопроводов</b>	
<b>10.00–10.15</b>	Задачи и перспективы эксплуатации магистральных газопроводов с незначительными повреждениями, образованными по механизму коррозионного растрескивания под напряжением  <b>Ряховских Илья Викторович</b> (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)
<b>10.15–10.20</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>10.20–10.35</b>	Особенности проявления «классического» коррозионного растрескивания под напряжением стальных газопроводов на территории РФ  <b>Богданов Роман Иванович</b> (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

<b>10.35–10.40</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>10.40–10.55</b>	<p>Анализ существующих моделей стресс-коррозии магистральных газопроводов и определение критических условий зарождения и развития стресс-коррозионных трещин</p> <p style="text-align: right;"><b>Есеев Таймураз Сулейманович</b> (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)</p>
<b>10.55–11.00</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>11.00–11.15</b>	<p>Комплексные исследования коррозионного растрескивания металла труб под напряжением</p> <p style="text-align: right;"><b>Карпов Сергей Всеволодович</b> (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)</p>
<b>11.15–11.20</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>11.20–11.35</b>	<p>Зависимость стойкости к коррозионному растрескиванию под напряжением труб магистральных газопроводов от послойной неоднородности их кристаллографической текстуры</p> <p style="text-align: right;"><b>Крымская Ольга Александровна</b> (НИЯУ МИФИ)</p>
<b>11.35–11.40</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>11.40–11.55</b>	<p>Применение метода EBSD для изучения коррозионного растрескивания под напряжением</p> <p style="text-align: right;"><b>Судьин Владислав Витальевич</b> (ИМЕТ РАН им. А.А. Байкова)</p>
<b>11.55–12.00</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>12.00–12.20</b>	<b>Кофе-брейк</b> (холл 1 этажа блока «Е»)
<b>12.20–12.35</b>	<p>Комплексные неметаллические включения в современных металлургических технологиях, свойства и надежность сталей</p> <p style="text-align: right;"><b>Зайцев Александр Иванович</b> (ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина»)</p>
<b>12.35–12.40</b>	<i>Обсуждение доклада</i>

**Направление 2. Анализ, разработка и совершенствование нормативной документации в области эксплуатации, капитального ремонта и диагностики МГ ПАО «Газпром»**

<b>12.40–12.55</b>	Исследования дефектов КРН с целью создания методики оценки ресурса поврежденных труб <b>Афанасьев Алексей Викторович</b> (ИТЦ – филиал ООО «Газпром трансгаз Самара»)
<b>12.55–13.00</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>13.00–13.15</b>	Роль влияния параметров технологических переделов на образование дефектов КРН высокопрочных сталей <b>Родионова Ирина Гавриловна</b> (ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»)
<b>13.15–13.20</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>13.20–13.35</b>	Структурные и металлургические факторы риска преждевременного разрушения листовых сталей и методы их оценки <b>Кузько Евгений Иванович</b> (НИТУ «МИСиС»)
<b>13.35–13.40</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>13.40–14.00</b>	<b>Фотографирование участников семинара</b>
<b>14.00–15.00</b>	<b>Обед в гостинице ООО «Газпром ВНИИГАЗ»</b>
<b>15.00–15.15</b>	О возможности прогнозирования различных видов стресс-коррозионных повреждений магистральных газопроводов ПАО «Газпром» <b>Шапиро Владимир Дмитриевич</b> (ООО «Газпром газнадзор»)
<b>15.15–15.20</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>15.20–15.35</b>	Экспериментальное исследование возможности консервации дефектов коррозионного растрескивания под напряжением в процессе трассовой переизоляции участков магистральных газопроводов <b>Воробьев Алексей Анатольевич</b> (ООО «Газпром трансгаз Ухта»)
<b>15.35–15.40</b>	<i>Обсуждение доклада</i>

<b>15.40–15.55</b>	<p>Прогнозирование стресс-коррозионной поврежденности труб на участках магистральных газопроводов с учетом коррозионной агрессивности грунта с применением современных вероятностно-статистических методов и технологий машинного обучения как один из элементов создания «интеллектуального газопровода»</p> <p style="text-align: right;"><b>Ряховских Илья Викторович</b> (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)</p>
<b>15.55–16.00</b>	<p><i>Обсуждение доклада</i></p>
<b>16.00–16.15</b>	<p>Опыт ООО «Газпром трансгаз Уфа» по борьбе с коррозионным растрескиванием под напряжением на магистральных газопроводах</p> <p style="text-align: right;"><b>Тагиров Марсель Бариевич</b> (ИТЦ – филиал ООО «Газпром трансгаз Уфа»)</p>
<b>16.15–16.20</b>	<p><i>Обсуждение доклада</i></p>
<b>16.20–16.35</b>	<p>Лабораторные исследования водородного охрупчивания стали 17Г1С под воздействием катодной защиты и внешней агрессивной среды</p> <p style="text-align: right;"><b>Толкачева Виктория Николаевна</b> (ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»)</p>
<b>16.35–16.40</b>	<p><i>Обсуждение доклада</i></p>
<b>16.40–16.55</b>	<p>Повышение эффективности диагностирования магистральных газопроводов в условиях стресс-коррозионной повреждаемости</p> <p style="text-align: right;"><b>Савеня Сергей Николаевич</b> (Частное профессиональное образовательное учреждение «Газпром колледж Волгоград»)</p>
<b>16.55–17.00</b>	<p><i>Обсуждение доклада</i></p>

**Направление 3. Формирование требований к продукции, материалам, оборудованию и технологиям, применяемым для строительства, диагностирования и ремонта магистральных газопроводов**

<b>17.00–17.15</b>	Достоверность выявления дефектов КРН методами внутритрубной дефектоскопии  <b>Бакастов Андрей Александрович</b> (ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Югорск»)
<b>17.15–17.20</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>17.20–20.00</b>	<b>Торжественный ужин в гостинице ООО «Газпром ВНИИГАЗ»</b>

**26 мая 2016 г., четверг**

<b>Продолжение работы семинара</b> (ауд. 203, блок «Е»)	
<b>9.00–9.15</b>	Современные материалы, оборудование и технологии для защиты поверхностей трубопроводных систем от коррозионного растрескивания под напряжением  <b>Луканин Владимир Леонидович</b> (АО «НПО «ЦНИИТМАШ»)
<b>9.15–9.20</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>9.20–9.35</b>	Возможности метода акустической эмиссии при диагностике стресс-коррозионных дефектов газопроводов ПАО «Газпром»  <b>Кузьмин Алексей Николаевич</b> (ООО «Стратегия НК»)
<b>9.35–9.40</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>9.40–9.55</b>	Разработка ингибирующих композиций для предотвращения коррозионного растрескивания под напряжением магистральных газопроводов  <b>Игнатенко Василий Эдуардович</b> (ИФХЭ РАН)
<b>9.55–10.00</b>	<i>Обсуждение доклада</i>



<b>10.00–10.15</b>	<p>Верификация результатов ВТД в части выявления и оценки параметров стресс-коррозионных дефектов в шурфах</p> <p style="text-align: right;"><b>Лазарев Владимир Львович</b> (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)</p>
<b>10.15–10.20</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>10.20–10.35</b>	<p>Опыт применения геофизических работ в рамках комплексных полевых обследований трубопроводов КС по определению потенциально опасных в отношении стресс-коррозии участков</p> <p style="text-align: right;"><b>Дубровский Сергей Валентинович</b> (ООО «НИИ ГЕОТЕХ»)</p>
<b>10.35–10.40</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>10.40–10.55</b>	<p>Опыт мониторинга технического состояния труб, оставленных в эксплуатации с дефектами КРН</p> <p style="text-align: right;"><b>Рыбалко Сергей Валерьевич</b> (ООО «НПП «Нефтегаздиагностика»)</p>
<b>10.55–11.00</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>11.00–11.15</b>	<p>Исследование особенностей расположения и геометрических характеристик стресс-коррозионных дефектов на магистральных газопроводах</p> <p style="text-align: right;"><b>Агиней Руслан Викторович</b> (ООО «Газпром проектирование»)</p>
<b>11.15–11.20</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>11.20–11.35</b>	<p>Применение магнитометрического метода для экспресс-диагностики подземных трубопроводов</p> <p style="text-align: right;"><b>Мусонов Валерий Викторович</b> (АО «Гипрогазцентр»)</p>
<b>11.35–11.40</b>	<i>Обсуждение доклада</i>

**Направление 4. Разработка программного обеспечения, расчетных методов оценки прочности магистральных газопроводов с коррозионно-механическими повреждениями, а также опыт применения технологий машинного обучения при моделировании многофакторных систем**

<b>11.40–11.55</b>	Перспективы применения высокопроизводительных вихретоковых дефектоскопов при диагностике участков газопроводов  <b>Рыбалко Сергей Валерьевич</b> (ООО «НПП «Нефтегаздиагностика»)
<b>11.55–12.00</b>	Обсуждение доклада
<b>12.00–12.20</b>	<b>Кофе-брейк</b> (холл 1 этажа блока «Е»)
<b>12.20–12.35</b>	Исследование параметров сигналов акустической эмиссии, вызванных коррозионным поражением углеродистой стали  <b>Алексеев Даниил Андреевич</b> (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)
<b>12.35–12.40</b>	Обсуждение доклада
<b>12.40–12.55</b>	Нейросетевая модель стресс-коррозионной поврежденности участков линейной части магистральных газопроводов  <b>Иващенко Максим Сергеевич</b> (ЗАО «Аэрокосмический мониторинг и технологии»)
<b>12.55–13.00</b>	Обсуждение доклада
<b>Направление 5. Опыт применения разработок, направленных на повышение надежности магистральных газопроводов, против коррозионного растрескивания под напряжением</b>	
<b>13.00–13.15</b>	Опыт планирования ремонтов и эксплуатации участков газопроводов, подверженных КРН  <b>Кохановский Марьян Марьянович</b> (ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Югорск»)
<b>13.15–13.20</b>	Обсуждение доклада

<b>13.20–13.35</b>	<p>Результаты внутритрубной диагностики трубопроводов КС, подверженных КРН, с применением сканера-дефектоскопа А2072 «IntroScan»</p> <p style="text-align: right;"><b>Макарычев Дмитрий Анатольевич</b> (ООО «ЭНТЭ»)</p>
<b>13.35–13.40</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>13.40–13.55</b>	<p>Возможности и способы измерения глубины КРН ультразвуковым методом неразрушающего контроля</p> <p style="text-align: right;"><b>Силин Виталий Васильевич</b> (ООО «АКС-Сервис»)</p>
<b>13.55–14.00</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>14.00–14.15</b>	<p>Концепция оценки трещин стресс-коррозии при помощи усовершенствованного портативного переносного вихретокового комплекса оценки трещин стресс-коррозии в составе передвижной лаборатории неразрушающего контроля труб магистральных газопроводов на базе электромобиля «ГАЗель NEXT Electro»</p> <p style="text-align: right;"><b>Коробкин Александр Иванович</b> (АО «СпецАвтоИнжиниринг»)</p>
<b>14.15–14.20</b>	<i>Обсуждение доклада</i>
<b>14.20–14.40</b>	<b>Обсуждение предложений и принятие решений. Закрытие семинара</b>
<b>14.40–15.30</b>	<b>Обед в гостинице ООО «Газпром ВНИИГАЗ»</b>
<b>15.30–17.30</b>	<b>Технологическая экскурсия по объектам Опытно-экспериментального центра ООО «Газпром ВНИИГАЗ». Экскурсия в Музей истории газовой науки ООО «Газпром ВНИИГАЗ»</b>
<b>17.30–19.00</b>	<b>Ужин в гостинице ООО «Газпром ВНИИГАЗ»</b>

## ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

### **ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ С НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ, ОБРАЗОВАННЫМИ ПО МЕХАНИЗМУ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ**

*И.В. Ряховских<sup>1</sup>, Р.И. Богданов<sup>1</sup>, А.В. Мельникова<sup>1</sup>, Д.А. Мишарин<sup>1</sup>,  
О.Н. Мелехин<sup>2</sup>, А.Б. Арабей<sup>2</sup>, А.В. Сахон<sup>2</sup>, И.И. Губанок<sup>3</sup>, К.Е. Козлов<sup>3</sup>,  
П.В. Абросимов<sup>4</sup>*

1 – ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

2 – ПАО «Газпром»

3 – ООО «Газпром центрремонт»

4 – ООО «Газпром трансгаз Чайковский»

I\_Ryakhovskikh@vniigaz.gazprom.ru

Действующая в настоящее время Система технического обслуживания и ремонта магистральных газопроводов (МГ) ПАО «Газпром» в целом обеспечивает должный контроль за их стресс-коррозионным состоянием. Наиболее опасные дефекты коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) устраняются по результатам регулярно проводимых внутритрубных инспекций, а на участках МГ, пролегающих по территориям с высокой предрасположенностью к КРН, выполняют капитальный ремонт МГ с заменой старого защитного покрытия.

Вместе с тем на фоне продолжающегося старения газотранспортной системы ПАО «Газпром» (к настоящему времени свыше 80 % МГ эксплуатируются более 20 лет) все большую значимость приобретают вопросы планирования и рационального распределения финансовых средств на проведение ремонта газопроводов. В связи с этим адекватность существующих норм отбраковки труб с дефектами КРН, приводящих к значительному увеличению стоимости ремонта, приобретает особую актуальность. Растет понимание того, что требования к ремонту стальных труб с трещинами КРН должны быть дифференцированы в соответствии с их реальной опасностью в отношении надежности газопровода.

С целью подтверждения возможности достаточно длительной эксплуатации стальных труб с неглубокими стресс-коррозионными повреждениями в течение установленного периода времени реализован комплекс экспериментальных исследований. Выполненные исследования проводились с учетом современных знаний о механизмах развития КРН трубных сталей в условиях эксплуатации МГ.

В докладе освещены вопросы оптимизации планирования работ по ремонту МГ ПАО «Газпром», подверженных КРН. На основе анализа данных диагностических обследований МГ и выполненного комплекса исследований показана возможность эксплуатации переизолированных участков газопроводов с дефектами КРН глубиной до 10 % от толщины стенки труб. Предложена методика оценки прочности труб с дефектами КРН, описывающая возможность реализации разрушения, как по хрупкому, так и по вязкому механизму. Выполнена оценка максимальных скоростей развития стресс-коррозионных трещин в металле труб длительно эксплуатируемых МГ. Представлены расчетно-экспериментальные зависимости прочности дефектных труб от геометрических размеров стресс-коррозионных трещин, а также способы длительной консервации КРН в процессе капитального ремонта МГ. Обозначены приоритетные задачи и направления дальнейших исследований ПАО «Газпром» по обеспечению надежности МГ, подверженных КРН.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ «КЛАССИЧЕСКОГО» КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ СТАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ НА ТЕРРИТОРИИ РФ

*А.Ю. Астанин<sup>1</sup>, Р.И. Богданов<sup>2</sup>, И.В. Ряховских<sup>2</sup>*

1 – ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»

2 – ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

R\_Bogdanov@vniigaz.gazprom.ru

Результаты диагностических обследований участков магистральных газопроводов (МГ) в России и за рубежом показали, что вне зависимости от производителей труб и режимов эксплуатации газопроводов коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН) подвержены участки поверхности труб, находящиеся в контакте с грунтовым электролитом под несквозными повреждениями покрытия. При этом в зависимости от состава подпленочного электролита выделяют два типа КРН трубных сталей – «классическое» межкристаллитное растрескивание в концентрированных карбонатных электролитах с высокими значениями рН (9,0÷12,5), транскристаллитное растрескивание в разбавленных электролитах с рН, близким к нейтральному (5,0÷7,5). Случаи «классического» КРН зафиксированы в США и бывшем СССР на МГ, проложенных в пустынных и полупустынных районах Средней Азии и Казахстана. Анализ проб грунта, взятых с мест аварий МГ России по причине КРН, свидетельствует о том, что отечественные газопроводы подвержены рН-нейтральному КРН.

В работе объектом исследования служили фрагменты труб с дефектами КРН, а также пробы грунта и грунтового электролита, отобранные в местах экскавации участков МГ ООО «Газпром трансгаз Ставрополь», пролегающего по территории Астраханской области. МГ выполнен из труб Ø 1020×10,0 мм, изготовленных из стали 17Г1С-У класса прочности К-52 и изолированных пленочным защитным покрытием трассового нанесения. Период эксплуатации МГ – 30 лет. В области прокладки МГ почва представляет собой солончаки.

По результатам выполненных металлографических исследований установлено, что трещины имеют нетипичный для территории РФ характер распространения (узкие, ветвистые, распространяющиеся вглубь трубной стали межкристаллитной трещины с четко очерченным контуром границ зерен; по сечению трещин отмечены признаки макро и микро ветвления). По результатам химического анализа проб грунта установлены следующие особенности ионно-солевого состава околотрубной среды: значение рН находится в диапазоне от 7,9 до 8,2 ед.; низкая концентрация карбонатсодержащих соединений; наличие сульфид- и бисульфид-ионов, влияние которых на распространение межкристаллитного КРН в средах с высоким рН не исследовано; высокая концентрация хлорид-ионов, которые ранее не указывались как опасный компонент грунта для КРН. Выявленные особенности химического состава грунта нехарактерны для коррозионно-активной среды, провоцирующей межкристаллитное КРН трубных сталей.

В работе показано, что ранее установленные модельные представления о реализации «классического» растрескивания в концентрированных карбонатных электролитах не позволяют описать все случаи межкристаллитного КРН трубных сталей. Таким образом, «классическое» КРН может протекать в разных геолого-климатических условиях, например может быть связано с различным анионным составом грунтового электролита.

# **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ СТРЕСС-КОРРОЗИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЗАРОЖДЕНИЯ И РАЗВИТИЯ СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ ТРЕЩИН**

*Т.С. Есиев*

ООО «Газпром ВНИИГАЗ»  
T\_Esiev@vniigaz.gazprom.ru

В докладе представлен критический анализ существующих на сегодня моделей стресс-коррозии металла труб магистральных газопроводов. Показано, что описываемые в литературе представления о классическом (при высоком рН коррозионной среды) и неклассическом (при околонейтральном рН среды) механизмах растрескивания являются достаточно условными и не отражают все многообразие встречающихся на практике случаев стресс-коррозии газопроводов. Эмпирический характер имеющихся моделей не позволяет надежно прогнозировать кинетику процесса растрескивания. Тем не менее в докладе отмечается, что в некоторых модификациях известных моделей важная роль в развитии стресс-коррозионного разрушения отводится скорости деформации металла в вершине трещины.

На основе имеющихся представлений о механизме стресс-коррозии, а также по результатам анализа собственных исследований феномена стресс-коррозии определено критическое сочетание факторов, приводящих к зарождению и развитию стресс-коррозионных трещин в газопроводах.

Показано, что необходимым условием протекания стресс-коррозии является замедленная пластическая деформация металла на отдельных участках поверхности труб (в зонах предрасположенности к стресс-коррозии). Только при достижении определенного (критического) значения скорости пластической деформации металла обеспечивается механохимическое взаимодействие металла со средой, приводящее к зарождению и развитию трещин стресс-коррозии. Показано, что протеканию локальной пластической деформации в приповерхностных слоях металла, находящегося под давлением газопровода, способствуют начальные несовершенства геометрической формы сечения труб и пластифицирование металла водородом, выделяющимся в ходе коррозионных реакций.



## **КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ МЕТАЛЛА ТРУБ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ**

*С.В. Карпов, Д.И. Ширяпов, А.С. Алихашкин*

ООО «Газпром ВНИИГАЗ»  
S\_Karpov@vniigaz.gazprom.ru

В докладе анализируются результаты комплексных исследований КРН на газопроводах, проводившиеся специалистами ООО «Газпром ВНИИГАЗ» совместно с представителями других научных и производственных предприятий.

На шестиниточной системе газопроводов в Краснотурьинском ЛПУМГ ООО «Тюментрансгаз» в 1993–1995 гг. в процессе переиспытания газопроводов с целью выявления опасных стресс-коррозионных дефектов были проведены комплексные исследования КРН, позволившие в дальнейшем разработать методические подходы для выявления стресс-коррозионных дефектов и на других системах магистральных газопроводов при полевых обследованиях и обследованиях в шурфах.

При обследованиях в шурфах, проведенных по результатам пропуска в 1995 г. внутритрубного прибора-дефектоскопа германской компании Pipetronix по газопроводу Уренгой – Центр (I) на участке КС «Краснотурьинская» – КС «Ляля», были получены данные о параметрах стресс-коррозионных дефектов. Эти данные послужили основанием для разработки компанией Pipetronix дополнительных диагностических признаков для ранжирования глубин трещин.

В трех газотранспортных предприятиях были созданы трубопроводные стенды, на которых экспериментально проверялась остаточная прочность труб со стресс-коррозионными дефектами, отработывалась методика оценки степени опасности стресс-коррозионных дефектов, изучалось развитие стресс-коррозионных дефектов в процессе нагружения труб.

В докладе рассмотрены особенности обследования труб со стресс-коррозионными дефектами в процессе капитального ремонта, проводимого по результатам внутритрубной дефектоскопии, а также исследования на лабораторной установке, направленные на изучение процесса возникновения стресс-коррозионных трещин.

# ЗАВИСИМОСТЬ СТОЙКОСТИ К КОРРОЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ОТ ПОСЛОЙНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ИХ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ

*О.А. Крымская<sup>1</sup>, Ю.А. Перлович<sup>1</sup>, М.Г. Исаенкова<sup>1</sup>, Н.С. Морозов<sup>1</sup>,  
И.В. Ряховских<sup>2</sup>, Т.С. Есеев<sup>2</sup>*

1 – НИЯУ МИФИ

2 – ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

OAKrymskaya@mephi.ru, YuPerl@mail.ru

Наличие послойной текстурной неоднородности стальных труб магистральных газопроводов (МГ) обусловлено различием технологических параметров горячей прокатки поверхностных и внутренних слоев листов, используемых для их производства. К таким параметрам относятся градиент температуры и неоднородность деформации по толщине листа, насыщение поверхностного слоя примесями внедрения из атмосферы и др.

В работе на примере МГ, находившихся в различных условиях эксплуатации, показано, что характер и степень текстурной неоднородности оказывают влияние на склонность труб к коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН) в процессе эксплуатации. Проведены рентгеновские исследования кристаллографической текстуры и структурных характеристик внешних и внутренних слоев образцов труб различного производства, вырезанных из участков МГ, с обнаруженными дефектами КРН и без них.

Анализ совокупности данных показывает, что более высокая степень текстурной неоднородности по толщине стенки трубы приводит к увеличению ее стойкости к КРН. Это обусловлено тем, что раскрытие коррозионных трещин тормозится при достижении слоя с измененной текстурой вследствие высокой взаимной разориентации зерен разных слоев и необходимости изменения плоскости движущейся трещины, что требует увеличения приложенных напряжений.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА EBSD ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

*М.М. Кантор, В.В. Судьин, В.А. Боженков*

Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН  
sudin.vlad@gmail.com, kantor@imet.ac.ru

Развитие физических методов анализа материалов предлагает все больше возможностей для исследователей. Одним из важнейших методов, получивших глобальное распространение в последние 20 лет, является метод дифракции отраженных электронов (ДОЭ). Принцип метода заключается в сканировании локальных областей материала пучком электронов при помощи растрового электронного микроскопа и определении ориентаций кристаллитов в каждой точке. Метод ДОЭ может предоставлять информацию об ориентации отдельных зерен, их размере, строении границ, деформации и текстуре материала. Возможности применения метода ДОЭ для изучения коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) очень широки, что демонстрируется примерами практического применения. Примеры, приведенные в докладе, показывают, насколько полезным для изучения КРН может быть использование информации об ориентации зерен и применение метода ДОЭ.

Информация об ориентации отдельных зерен трубы магистрального нефтепровода, изготовленной из стали 17Г1С, показала, что начальная стадия зарождения трещины КРН проходит по межзеренному механизму, вероятно, из-за большей скорости растворения границ зерен по сравнению с телом зерна. Измерение рассеяния ориентаций зерен, линейно зависящего от деформации материала, показало, что в местах зарождения трещин материал не деформирован, что может свидетельствовать о преимущественно коррозионной природе зарождения трещин КРН.

Глубокие трещины КРН развиваются по смешанному транскристаллитно-межзеренному механизму, что подтверждается картами ориентаций зерен. При этом на некоторых границах зерен трещина отклоняется от своего прямолинейного распространения и движется по контуру границы, что может указывать на значимость коррозионного фактора распространения и для трещин, находящихся на стадии устойчивого роста. Степень деформации зерен, расположенных вдоль пути прохождения трещины, измеренная методом ДОЭ, оказалась сопоставимой с этой величиной для хрупкого скола в таких сталях. Также вдоль пути прохождения трещины была проведена визуализация локального распределения механических напряжений, которая продемонстрировала равномерность деформации как по берегам трещины, так и в ее вершине.

# КОМПЛЕКСНЫЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ, СВОЙСТВА И НАДЕЖНОСТЬ СТАЛЕЙ

*А.И. Зайцев, А.В. Колдаев, А.Б. Степанов*

ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»  
aizaitsev1@yandex.ru

Благодаря прогрессу в металлургических технологиях, широкому использованию новых материалов, методов интенсивного воздействия на металл произошло принципиальное изменение характеристик (тип, количество, число, морфология) неметаллических включений, присутствующих как в традиционно производимых, так и, особенно, новых марках стали. Как правило, они имеют сложный химический и фазовый состав, который подвержен закономерной эволюции по ходу обработки металла. Их влияние на служебные свойства, эксплуатационную надежность стали, в общем, неизвестно.

В настоящей работе проведено детальное исследование всех типов комплексных неметаллических включений, формирующихся на всех этапах производства стали. Установлено, что в современных сталях происходит формирование целого ряда комплексных неметаллических включений с оксидной (на основе корунда, алюмомагниевого шпинели), сульфидной (сульфиды кальция, марганца) и нитридной (нитрид титана) составляющими. Они, особенно при больших размерах, могут служить причиной возникновения дефектов, снижения стойкости металла против коррозионно-механического разрушения. С другой стороны, отложение цементита и других карбидов на поверхности таких включений, как и образование определенных типов стеклообразных включений, карбонитридных выделений, позволяет увеличить как стойкость против коррозионно-механического разрушения, так и механические свойства. Таким образом, путем управления характеристиками комплексных неметаллических включений можно существенно повысить показатели надежности комплекса служебных параметров современных сталей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-01726) в ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина».

## ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ КРН С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РЕСУРСА ПОВРЕЖДЕННЫХ ТРУБ

*А.В. Афанасьев, М.И. Васьков, П.Е. Киселев*

ООО «Газпром трансгаз Самара»  
av.afanasev@samaratransgaz.gazprom.ru  
M.Vaskov@samaratransgaz.gazprom.ru  
P.Kiselev@samaratransgaz.gazprom.ru

Наиболее технологичным способом диагностики газопроводов является внутритрубная техническая дефектоскопия (ВТД). Но с приемлемой точностью этим методом возможно выявлять плоскостные дефекты глубиной от 15 % толщины стенки трубы. Исходя из практики, до 92 % стресс-коррозионных дефектов (КРН), обнаруженных при всех видах неразрушающего контроля (НК), имеют глубину менее 10 % от толщины стенки трубы. Поэтому не обнаруженные трещины (до 15 % стенки), в том числе КРН, в начальной стадии могут присутствовать во многих трубопроводах Единой системы газоснабжения (ЕСГ), даже там, где проводилась внутритрубная диагностика.

Действующая нормативная документация ПАО «Газпром» не допускает эксплуатацию трубных элементов, содержащих даже незначительные по глубине дефекты КРН. При этом условия эксплуатации газотранспортного комплекса не всегда позволяют провести незамедлительный ремонт каждого выявленного дефекта КРН.

При диагностических обследованиях в ООО «Газпром трансгаз Самара» были обнаружены зоны со стресс-коррозионным растрескиванием на различных по конструкционным параметрам трубных элементах и отображены образцы, содержащие трещины КРН. В ходе определения характера разрушения образцы подвергались микроскопическому, металлографическому и спектрометрическому анализам, а также определялся химический состав основного металла и продуктов коррозии в различных зонах.

При обследовании образцов замерялись длины и величина раскрытия трещин на шлифованной поверхности. Установлено, что между шириной раскрытия и длиной трещины существует закономерность. Простое статистическое обобщение в масштабах 100 обследованных образцов показало, что соотношение длины трещины к ширине ее раскрытия можно описать как 10:1. Замеры глубин трещин позволяют предположить, что имеется статистическая связь 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. Она станет основой методики оценки глубины и степени опасности трещины в действующем газопроводе при НК. Подобный подход может стать основой для методов определения и периодического мониторинга остаточного ресурса труб, содержащих стресс-коррозионные дефекты на начальном этапе развития.

## **РОЛЬ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕДЕЛОВ НА ОБРАЗОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ КРН ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ**

*И.Г. Родионова<sup>1</sup>, А.И. Зайцев<sup>1</sup>, К.А. Удод<sup>1</sup>, О.Н. Бакланова<sup>1</sup>,  
И.В. Ряховских<sup>2</sup>, Т.С. Есиев<sup>2</sup>*

1 – ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»

2 – ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

igrodi@mail.ru

Проведено комплексное исследование образцов разрушенных в результате дефектов коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) участков магистральных газопроводов с использованием электрохимических и металлографических методов оценки стойкости стали против локальной коррозии, циклических методов оценки стойкости против КРН, а также методов водородной диагностики.

Показано, что существенную роль в развитии процессов КРН играют напряжения, возникающие при формовке труб, а также структурные элементы, которые при поступлении в сталь водорода в процессе эксплуатации способны его аккумулировать, вызывая охрупчивание металла (немаллические включения, структурная неоднородность). При этом дефектам КРН подвержены не только трубопроводы, но и оборудование компрессорных станций, испытывающее циклические нагрузки и контактирующее с грунтовым электролитом. Проведенное исследование позволило оценить роль технологического и металлургического передела в развитии разных стадий разрушения по механизму КРН и разработать подходы к освоению производства сталей и труб повышенной стойкости против КРН.

Актуальной задачей является разработка требований для исследования труб после эксплуатации для последующей классификации и повторного применения в различных регионах РФ.

Работа выполнена в рамках соглашения о предоставлении субсидии от 11.08.2014 №14.624.21.0001. Уникальный идентификатор ПНИ (проекта) RFMEFI62414X0001.

## **СТРУКТУРНЫЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РИСКА ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ ЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ И МЕТОДЫ ИХ ОЦЕНКИ**

*А.В. Кудря, Е.И. Кузько, Э.А. Соколовская*

НИТУ «МИСиС»  
AVKudrya@misis.ru

Более глубокое понимание механизма влияния развитой неоднородности разномасштабных структур (неизбежных для любой промышленной технологии получения металлопродукции в целом) в появлении разброса пластичности и вязкости трубного металла – необходимое условие для оценки риска преждевременного разрушения листовых сталей.

Для успешного решения данной задачи необходимы соответствующие методы наблюдения и измерения неоднородности структур и разрушения. Предложенные методы количественного анализа морфологии структур, выявления текстур, оценки географии размещения неметаллических включений в масштабе образца (по толщине листа), в частности, позволили сопоставить различия в геометрии полосчатости структур: ферритной, зеренной, сульфидной и др. в сталях категории К52, К60 и К65.

Такая неоднородность структур нашла свое отражение в строении изломов образцов для испытаний на удар и падающим грузом, в том числе в появлении расслоений разнообразной природы.

Для достоверной оценки малых различий в положении сериальных кривых, особенно при ограниченном числе образцов и естественном рассеянии измерений апробированы процедуры их построения, исходя из принципа максимума правдоподобия. Это, в частности, показало, что для прогноза хладноломкости современных трубных сталей необходимо понижение температур испытания до  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

В целом показано, что сопоставление неоднородности структур и разрушения в трубных сталях позволяет объективно оценить факторы риска преждевременного разрушения листовых сталей, ввести в их оценку количественные меры.

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ПАО «ГАЗПРОМ»**

*А.Б. Докутович, к.т.н. С.В. Коваленко, д.т.н. А.Н. Кузнецов, Ю.В. Немчин,  
к.т.н. В.Д. Шапиро*

ООО «Газпром газнадзор»  
dokutovitch@gaznadzor.gazprom.ru

Предложен метод идентификации (распознавания) стресс-коррозионно опасных участков магистральных газопроводов и прогнозирования наиболее вероятного вида стресс-коррозионного повреждения в данной точке газопровода с использованием накопленных знаний о признаках, сопутствующих проявлениям КРН. Приведены сведения о частоте и характерных признаках наблюдаемых случаев обычного («продольного») и «поперечного» КРН.

Описаны конкретные случаи поперечного КРН, в том числе случаи, «похожие» на КРН, случаи, при которых поперечные стресс-коррозионные трещины были магистральными (вызвали аварии) или только сопутствовали основной причине, а также случаи инцидентов с образованием поперечных стресс-коррозионных повреждений.

Высказаны соображения об опасности (из-за слабой диагностируемости) случаев поперечного КРН. Задачу предсказания опасных участков с точки зрения обычного и поперечного КРН предложено решать с использованием метода прогнозирования аварий на объектах магистральных газопроводов, основанного на идее распознавания образов. Данный двухэтапный метод позволяет на I этапе исследования эксплуатируемого участка газопровода определить, является ли участок стресс-коррозионно опасным, и если является, на II этапе, учитывая реальные условия эксплуатации, установить наиболее вероятный вид стресс-коррозионного повреждения, разработать мероприятия по обеспечению дальнейшей безаварийной работы участка газопровода.



## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОНСЕРВАЦИИ ДЕФЕКТОВ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ В ПРОЦЕССЕ ТРАССОВОЙ ПЕРЕИЗОЛЯЦИИ УЧАСТКОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

*А.А. Воробьев<sup>1</sup>, Д.А. Мишарин<sup>2</sup>*

1 – ООО «Газпром трансгаз Ухта»

2 – ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

avorobev@sgp.gazprom.ru

По результатам анализа данных отбраковки труб при проведении капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов ПАО «Газпром» установлено, что в 90 % случаев глубина дефектов коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) не превышает 10 % от толщины стенки трубы. Как показывает опыт эксплуатации магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Ухта», стресс-коррозионные дефекты подобной глубины находятся на начальной стадии своего развития и не представляют непосредственной опасности с точки зрения эксплуатационной надежности МГ, а оперативный ремонт труб с неопасными дефектами нецелесообразен с экономической точки зрения.

Для предотвращения развития указанного рода повреждений на начальной стадии их развития в долгосрочной перспективе необходимо исключить доступ околотрубной среды к пораженным участкам труб, что достигается за счет переизоляции МГ в установленном ПАО «Газпром» порядке.

В ПАО «Газпром» утверждены и введены в действие СТО Газпром 2-2.3-173-2007 и Р Газпром 9.4-030-2014, в соответствии с которыми возможна эксплуатация труб с условно-допустимыми дефектами КРН, в составе линейной части МГ при осуществлении периодического наблюдения за их состоянием.

С целью установления возможности длительной консервации дефектов КРН небольшой глубины в процессе трассовой переизоляции МГ были организованы опытно-промышленные испытания на тестовом участке МГ Пунга – Ухта – Грязовец IV 843-871 км.

В работе произведен анализ результатов комплексных опытно-промышленных испытаний, допущенных в ПАО «Газпром», и инновационных битумно-полимерных защитных покрытий с ингибирующей КРН композицией для задач консервации стресс-коррозионных дефектов в процессе трассовой переизоляции МГ ООО «Газпром трансгаз Ухта».

Показаны основы методики принятия решения о возможности эксплуатации участков МГ с незначительными дефектами КРН.

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТРЕСС-КОРРОЗИОННОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ТРУБ НА УЧАСТКАХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ КОРРОЗИОННОЙ АГРЕССИВНОСТИ ГРУНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ КАК ОДИН ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ СОЗДАНИЯ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА»

*И.В. Ряховских<sup>1</sup>, Р.И. Богданов<sup>1</sup>, С.А. Марцевой<sup>2</sup>, В.А. Козляков<sup>2</sup>,  
А.А. Селиванов<sup>2</sup>, А.И. Маршаков<sup>3</sup>, А.М. Мирзоев<sup>4</sup>*

1 – ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

2 – ООО «Газпром трансгаз Югорск»

3 – ООО «Центр коррозионных испытаний»

4 – ЗАО «АМТ»

I\_Ryakhovskikh@vniigaz.gazprom.ru

В докладе представлены результаты комплексного анализа и систематизации данных о стресс-коррозионных дефектах магистральных газопроводов (МГ) ООО «Газпром трансгаз Югорск», полученных при проведении внутритрубного технического диагностирования (ВТД) и неразрушающего контроля (НК) труб в процессе капитального ремонта (КР) МГ.

По результатам анализа установлено, что не менее чем в 92 % случаев глубина дефектов коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) на МГ не превышает  $0,10 t$  (где  $t$  – толщина стенки трубы).

На основании действующей в ПАО «Газпром» нормативной документации в области оценки прочности труб с дефектами КРН обоснована классификация труб со стресс-коррозионными повреждениями по степени опасности, в том числе с учетом требований к средствам автоматизированного НК.

Разработана корреляционная модель стресс-коррозионной поврежденности труб с учетом степени опасности стресс-коррозионных дефектов, факторов их образования и развития, а также результатов диагностирования МГ в протяженных шурфах. Выполнена верификация вновь разработанной модели на участках ЛЧ МГ ООО «Газпром трансгаз Югорск», включая различные сценарии учета данных по ранее отремонтированным участкам газопроводов.

В докладе показано, что планирование выборочного и капитального ремонта МГ с применением разработанной корреляционной модели обеспечит точность прогнозирования отбраковки труб с дефектами КРН на 10-километровом участке газопровода не менее:

- 65 % с дефектами глубиной  $0-1 t$ ,
- 85 % с дефектами глубиной  $0,1-1 t$ .

Применение вновь разработанной модели на участках МГ, обследованных средствами ВТД, позволит осуществлять сравнительную оценку достоверности данных диагностики для труб с дефектами КРН глубиной  $0,2-1 t$ .

Расчетно обоснованы оптимальные объемы дополнительных обследований МГ в шурфах, выполнение которых обеспечит точность прогнозирования отбраковки труб при КР до 90 % на участке газопровода, протя-

женностью 10 км. Предложена расчетно-аналитическая методика планирования дополнительных обследований труб в протяженных шурфах для уточнения объемов отбраковки труб при проведении КР.

Показано, что повышение точности прогнозирования стресс-коррозионной поврежденности труб возможно достичь путем декомпозиции факторов, ответственных за процесс КРН, и уточнения их значений с учетом гидрогеологических особенностей местности и степени агрессивности грунта. При этом, оценку указанных факторов КРН целесообразно осуществлять с применением методов машинного обучения и обработки данных, например нейросетевых технологий.

## **ОПЫТ ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ УФА» ПО БОРЬБЕ С КОРРОЗИОННЫМ РАСТРЕСКИВАНИЕМ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ**

*Р.Р. Усманов<sup>1</sup>, М.В. Чучкалов<sup>1</sup>, М.Б. Тагиров<sup>1</sup>, Р.М. Аскаргов<sup>2</sup>*

1 – ИТЦ – филиал ООО «Газпром трансгаз Уфа»

2 – ФГБОУ УГНТУ

tagirovmarsel@gmail.com

Главной проблемой, приводящей к нарушению целостности магистральных газопроводов, является коррозионное растрескивание под напряжением (КРН). Предприятие ООО «Газпром трансгаз Уфа» столкнулось с этой проблемой в 1997 г. С тех пор проведены многочисленные исследования и разработаны методы выявления, торможения и предотвращения КРН. Отметим некоторые из них.

Установлены принципиальные отличия поперечного КРН от продольного, причины его образования и развития. Поперечное КРН проявляется в случае, когда изгибные (продольные) напряжения превышают кольцевые.

Предложен алгоритм выявления потенциально опасных участков (ПОУ) по признаку повышенных изгибных напряжений и первичной оценки их напряженно-деформированного состояния (НДС) средствами внутритрубной диагностики (ВТД), потребовавший модернизации внутритрубного оборудования.

Разработана и научно обоснована превентивная технология ремонта ПОУ без остановки транспорта газа, основанная на корректировке пространственного положения участка в плоскости изгиба, что позволяет снизить изгибные (продольные) напряжения до нормативных значений и, соответственно, исключить условия для образования КРН.

Таким образом, разработанные методы позволяют на ранней стадии выявлять и своевременно устранять ПОУ МГ с повышенным уровнем изгибных напряжений, которые в свою очередь склонны к образованию КРН.

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

*В.Л. Онацкий, В.Н. Толкачева*

ФГБОУ ВПО УГТУ  
vonatskiy@ugtu.net, missis\_tolkacheva@mail.ru

В последние годы главной проблемой, влекущей нарушение целостности магистральных газопроводов, является коррозионное растрескивание под напряжением (КРН). Среди основных причин возникновения КРН выделяют водородное охрупчивание металла трубы, вызванное контактом с агрессивной внешней средой и действием катодной поляризации. Важно определить и поддерживать рациональный потенциал катодной защиты.

В качестве объекта исследования выбран участок 1,5–67 км газопровода Ухта – Торжок (III нитка) ООО «Газпром трансгаз Ухта». Проведен анализ распределения дефектов по окружности трубы, количественного распределения дефектов от удельного электросопротивления грунта, а также установлена зависимость количества дефектов КРН от расстояния до точки дренажа станции катодной защиты.

Для изучения возможности определения рационального потенциала катодной защиты проведены лабораторные исследования, в ходе которых оценивалось влияние защитного потенциала на скорость проникновения водорода в стальной образец. Исследование проводили в средах с водородным показателем от 5 до 9 рН.

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

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ СТРЕСС-КОРРОЗИОННОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ**

*С.Н. Савеня*

Частное профессиональное образовательное учреждение  
«Газпром колледж Волгоград»  
mail.adm@vcgo.ru

Важными факторами развития процессов стресс-коррозии являются уровень растягивающих напряжений в трубопроводных конструкциях и агрессивность грунтовых электролитов в околотрубном пространстве, воздействующих на внешнюю поверхность трубных сталей. Стресс-коррозия проявляется в виде колоний трещин, развитие которых сопровождается их слиянием и впоследствии может привести к разрыву.

Применяемые методы диагностики стресс-коррозионной повреждаемости трубопроводов должны быть прежде всего направлены на выявление специфических для данного вида разрушений факторов, включая влияние напряжений, состояние защитных покрытий и активность околотрубной коррозионной среды.

На основе практических исследований авторов можно констатировать следующее:

– проблема стресс-коррозии на действующих магистральных газопроводах относится 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;

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

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

## **ДОСТОВЕРНОСТЬ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ КРН МЕТОДАМИ ВНУТРИТРУБНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ**

*А.А. Бакастов*

ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Югорск»  
abakastov@tg.gazprom.ru

В докладе представлен анализ достоверности результатов внутритрубной технической диагностики (ВТД) линейной части магистральных газопроводов (ЛЧ МГ) и технологических трубопроводов компрессорных станций (ТТ КС) по данным выполненных обследований при капитальном ремонте подрядным и хозяйственным способом за период 2000–2016 гг.

На основе статистического и аналитического материала сформулированы предложения по повышению достоверности выявления дефектов коррозионного растрескивания напряжением методами ВТД; отражены результаты стендовых и трассовых испытаний снарядов ВТД, проведенных в ООО «Газпром трансгаз Югорск»; сделана оценка достоверности результатов ВТД с применением ЭМА-технологии.

# СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ОТ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

*В.Л. Луканин*

АО «НПО «ЦНИИТМАШ»  
luckanin.v@yandex.ru

В 2013–2014 гг. в АО «НПО «ЦНИИТМАШ» были успешно проведены две договорные работы:

1. Разработка защитного покрытия направляющих узла герметизации сильфонного компенсатора.

2. Разработка покрытия сильфонов компенсаторов, стойкого при воздействии хлоридов, кислот и щелочей.

В результате проведенных работ были разработаны защитные покрытия, позволяющие решить задачу по эффективной защите гильз сильфонных компенсаторов, которые могут применяться промышленно в качестве поверхности скольжения компенсаторов типа СКН и СКНК.

Работа по защите сильфонов позволила завершить создание технологии, продлевающей ресурс и безопасность эксплуатации компенсаторов и трубопроводных систем в целом.

Разработанная технология опробована, испытана и дала положительный результат при использовании материала, произведенного на предприятии ЗАО НЛП «Спектр» (г. Новочебоксарск).

Технология защиты металлов, находящихся под напряжением с помощью жидких композиций, одновременно обладающих высокой адгезией, коррозионной стойкостью, минимальным коэффициентом трения и долговременной пластичностью, является перспективным направлением защиты от коррозионного растрескивания под напряжением.

Разработанная технология позволяет решить проблемы, возникающие во многих отраслях промышленности: защита от коррозии, абразивного износа и других видов разрушений, приводящих к уменьшению эксплуатационного ресурса и предотвращающих возникновение аварийных ситуаций.



# **ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ ДЕФЕКТОВ ГАЗОПРОВОДОВ ПАО «ГАЗПРОМ»**

*А.Н. Кузьмин<sup>1</sup>, А.А. Селиванов<sup>2</sup>*

1 – ООО «Стратегия НК»

2 – ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Югорск»

11kan@strategnk.ru

aselivanov@ttg.gazprom.ru

Учитывая высокую степень износа линейной части магистральных газопроводов (ЛЧ МГ) ПАО «Газпром», своевременное диагностирование дефектов коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) на таких объектах становится первостепенной задачей. Однако эффективных методов диагностики, которые применяются для выявления дефектов КРН на протяженных объектах, для решения этой задачи явно недостаточно. Известны высокие потенциальные возможности при выявлении дефектов КРН и других опасных развивающихся дефектов интегрального метода акустико-эмиссионного (АЭ) контроля. Вместе с тем применение его на практике в ПАО «Газпром» ограничивается рядом факторов, снижающих эффективность контроля до минимума, а именно: слабой помехозащищенностью в условиях высоких технологических шумов при контроле в процессе эксплуатации МГ, необходимостью принудительного изменения давления с превышением рабочего уровня более чем на 10 %, малой точностью определения местоположения дефектов, отсутствием адаптированных к условиям объектов МГ численных критериев оценки степени опасности зарегистрированных источников АЭ. Кроме того, существующие ПБ 03-593-03 «Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов», носят общий, рекомендательный характер и не содержат конкретных методических принципов проведения акустико-эмиссионного контроля на линейной части МГ.

В докладе приведены результаты опытно-исследовательской работы по диагностике дефектов КРН, выполненные специализированной экспертной организацией ООО «Стратегия НК» на нескольких предприятиях транспорта газа ПАО «Газпром». Работа проводилась в период 2003–2014 гг. в рамках разработки стандартов предприятия по акустико-эмиссионной (АЭ) диагностике различных объектов ЛЧ МГ на участках, наиболее подверженных стресс-коррозионным разрушениям.

В докладе сформулированы, представлены и обоснованы основные методические принципы проведения АЭ-контроля (АЭК) протяженных объектов транспорта газа. На базе технологии NDIS предложен адаптированный количественный критерий оценки степени опасности АЭ-источников, соответствующих опасным развивающимся дефектам КРН. Приведены наиболее характерные примеры выявляемых дефектов КРН на МГ, проведено сравнение результатов АЭК с данными внутритрубной дефектоскопии, осуществлен статистический анализ выявляемых дефектов. Показан высокий процент выявляемости опасных для экс-

плуатации дефектов КРН, установлена взаимосвязь параметров акустической эмиссии с типом/размером выявленных дефектов. Сделан вывод, что использование предлагаемых новых методических принципов АЭК, разработанных специально для условий эксплуатации МГ, в совокупности с другими методами НК, применяемыми при обследовании участков повреждения МГ, дает принципиальную возможность достоверно определять текущее техническое состояние газопровода, а также прогнозировать наступление предельных состояний контролируемых объектов в будущем.

## **РАЗРАБОТКА ИНГИБИРУЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

*В.Э. Игнатенко<sup>1</sup>, Во Тхань Тьен<sup>1</sup>, М.А. Петрунин<sup>1</sup>, Ю.И. Кузнецов<sup>1</sup>,  
Р.И. Богданов<sup>2</sup>, И.В. Ряховских<sup>2</sup>, А.И. Маршаков<sup>3</sup>*

1 – ИФХЭ РАН

2 – ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

3 – ООО «Центр коррозионных испытаний»

Basil148@mail.ru

Задачей настоящего исследования является разработка защитных покрытий, предупреждающих развитие дефектов коррозионного растрескивания напряжением (КРН) после переизоляции труб с колониями стресс-коррозионных трещин, которые не представляют непосредственной опасности при дальнейшей эксплуатации магистральных газопроводов.

Были установлены типы органических соединений, которые наиболее эффективно тормозят электродные реакции, протекающие при росте коррозионной трещины в трубной стали, а именно анодное растворение железа, катодное выделение и внедрения водорода в металл.

Исследовано влияние ингибиторов коррозии (ИК) на скорость роста уже существующей трещины при статической нагрузке образца трубной стали класса прочности X70, а также на трещиностойкость этой стали при медленном растяжении образцов с постоянной скоростью. Испытания проводились в модельных грунтовых электролитах с pH 5.5 и 7.0, не содержащих и содержащих ионы сульфида. По результатам коррозионно-механических испытаний изученные ИК ранжированы по их способности уменьшать время до образования микротрещин на поверхности стали и тормозить скорость роста уже существующей трещины.

В работе модифицировали битумно-полимерное покрытие, в состав грунтовки которого вводили ингибирующие композиции 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. Показано, что наилучшие адгезионные характеристики в покрытии показывает битумно-полимерная грунтовка, в состав которой входит ингибирующая композиция КР-60.

По результатам комплексных лабораторных исследований эффективные ингибирующие КРН композиции были рекомендованы к проведению стендовых и опытно-промышленных испытаний в составе защитных покрытий при трассовой переизоляции участков газопроводов, подверженных стресс-коррозии.

## **ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ВТД В ЧАСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ШУРФАХ**

*И.Л. Вялых, Д.А. Зотов, В.Л. Лазарев, А.В. Липовик*

ООО «Газпром ВНИИГАЗ»  
V\_Lazarev@vniigaz.gazprom.ru

В докладе рассмотрены вопросы выявления, идентификации (распознавания) и оценки параметров стресс-коррозионных дефектов труб линейной части магистральных газопроводов при проведении диагностических работ по внутритрубному техническому диагностированию (ВТД) и верификации результатов ВТД средствами ручного неразрушающего контроля в шурфах.

Показаны особенности выявления и идентификации трещиноподобных дефектов труб различными видами неразрушающего контроля, реализованными во внутритрубных дефектоскопах и ручных приборах, в том числе возможность выявления и идентификации комбинированных дефектов (трещиноподобные дефекты на фоне коррозии, механических повреждений, сварных швов).

Доклад подготовлен на основе выполненных сотрудниками лаборатории технической диагностики трубопроводов и оборудования работ по верификации в шурфах результатов ВТД на объектах ООО «Газпром трансгаз Югорск» в период 2014–2016 гг.

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ В РАМКАХ КОМПЛЕКСНЫХ ПОЛЕВЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ КС ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ В ОТНОШЕНИИ СТРЕСС-КОРРОЗИИ УЧАСТКОВ**

*С.В. Дубровский, А.В. Урусова, Е.А. Шалаева*

ООО «НИИ ГЕОТЕХ»  
info@geotech.ru

Стресс-коррозионное состояние магистральных газопроводов (МГ) во многом определяется особенностями строения вмещающей геологической среды, а именно составом грунтов, их коррозионной активностью, уровнем грунтовых вод, интенсивностью проявления негативных геологических процессов.

Комплекс методов, применяемых для изучения и контроля состояния геологической среды, включает не только прямые геологические наблюдения, но и косвенные неразрушающие геофизические исследования. Они позволяют осуществлять разведку трасс под строительство трубопроводов, определять плановое и глубинное положения существующих коммуникаций, развивается направление оценки гидроизоляции труб. Основными методами для решения подобных задач являются георадиолокация, электроразведка, сейсморазведка в их различных модификациях.

Георадиолокация позволяет осуществлять поиск труб и определять их пространственное положение. Применение электроразведочных методов позволяет проводить классификацию вмещающих грунтов по степени их коррозионной активности, а также определять наличие подземных водотоков и уровень грунтовых вод вдоль трассы МГ. Физическая изношенность трубы контролируется путем изучения полей катодной защиты.

В докладе рассмотрено геофизическое оборудование российского производства, позволяющее проводить вышеуказанные исследования на трубопроводах, а также освещен некоторый опыт выполнения геофизических работ на участках трубопроводных систем «Южный поток», Ухта – Торжок, Заполярье – Пур-Пе и пр.

Комплекс геофизического оборудования ООО «НИИ ГЕОТЕХ» успешно применен в процессе совместного с ООО «Газпром ВНИИГАЗ» выполнения научно-исследовательских работ по поиску потенциально опасных в отношении коррозионного растрескивания под напряжением участков МГ.

## **ОПЫТ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБ, ОСТАВЛЕННЫХ В ЭКСПЛУАТАЦИИ С ДЕФЕКТАМИ КРН**

*С.В. Рыбалко*

ООО «НПП «Нефтегаздиагностика»  
rybalko@neftegazdiagnostika.ru

При выполнении капитального ремонта (КР) и капитального ремонта технологических трубопроводов (КРТТ) на объектах газотранспортных предприятий ПАО «Газпром» в последние несколько лет практикуется вырезка участков труб или же целых труб при обнаружении в таких трубах дефектов коррозионного растрескивания напряжением (КРН) любого размера. Вырезанный участок заменяется на новую трубу в заводском защитном покрытии или же переизолируется с применением покрытий трасового нанесения.

Между тем, описанный подход к выполнению КР и КРТТ является трудоемким, дорогостоящим и, учитывая результаты многочисленных исследований, необоснованным.

Незначительные (глубиной менее 1 мм) дефекты КРН без наличия изгибных напряжений или при снижении кольцевых напряжений в стенках труб перестанут развиваться и перейдут в состояние обычной коррозии.

Таким образом, не обязательно нести существенные затраты, ремонтируя вырезкой участки трубопроводов с дефектами КРН глубиной менее 1 мм, достаточно точно идентифицировать обнаруженные дефекты и организовать их последующий контроль.

Коллектив ООО «НПП «Нефтегаздиагностика» (ранее – ООО «Экспертиза») выполнил ряд научно-исследовательских работ по указанной тематике, разработал и апробировал технические средства диагностики и мониторинга технического состояния труб, оставленных в эксплуатации с дефектами КРН.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПОЛОЖЕНИЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ ДЕФЕКТОВ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ

*Р.В. Агинец<sup>1</sup>, С.С. Гуськов<sup>2</sup>, Р.А. Садртдинов<sup>3</sup>*

1 – ООО «Газпром проектирование», Нижегородский филиал

2 – АО «Гипрогазцентр»

3 – ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород»

aginey@ggc.nnov.ru

В данной работе представлены результаты исследования параметров дефектов коррозионного растрескивания под напряжением (КРН), выявленных в ходе диагностического обследования при капитальном ремонте участков магистральных газопроводов с наружным диаметром 1420 мм, эксплуатируемых ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород». Общая длина рассмотренных участков газопроводов – 62 км, общее количество рассмотренных дефектов КРН – более 10 тыс. Цель работы – установление закономерностей расположения дефектов КРН и определение характеристик дефектов КРН на обследованных участках газопроводов.

В ходе работы построены распределения дефектов КРН по значениям угловой ориентации, расстояния для продольного шва, геометрическим параметрам дефектов для труб разных типов. Определены интервалы значений угловой ориентации продольных швов, при которых наблюдается наименьшее количество дефектов КРН. Выявленные особенности влияния угловой ориентации продольных швов на количество дефектов КРН могут использоваться при планировании капитального ремонта по результатам внутритрубной диагностики для определения участков с наибольшей предрасположенностью к КРН, а также при строительстве и ремонте газопроводов для минимизации предрасположенности к КРН путем выбора определенной угловой ориентации продольных швов труб в процессе монтажа газопровода.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

*В.В. Мусонов<sup>1</sup>, С.С. Гуськов<sup>1</sup>, Р.В. Агинец<sup>2</sup>*

1 – АО «Гипрогазцентр»

2 – ООО «Газпром проектирование», Нижегородский филиал  
bita-mvv@ggc.nnov.ru

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на совершенствование методов дистанционного магнитометрического контроля, основанных на измерении постоянного магнитного поля трубопровода с поверхности грунта и применяемых для проведения экспресс-диагностики технического состояния подземных трубопроводов в комплексе с электрометрическими методами.

Разработана методика определения положения кольцевых сварных швов подземных трубопроводов по результатам наземных магнитометрических измерений, которая позволяет уточнить привязку результатов внутритрубной дефектоскопии на местности, что необходимо для более точного определения координат участков подземных трубопроводов, на которых требуется проведение шурфований и диагностических обследований.

Предложена методика интегральной оценки поврежденности участков подземного стального трубопровода, которая реализуется путем сравнения результатов измерений постоянного магнитного поля трубопровода с поверхности грунта при двух разных значениях внутреннего давления в трубопроводе.

Предложена индикаторная методика для определения участков подземного трубопровода, на которых в процессе эксплуатации происходят изменения напряженно-деформированного состояния. Методика позволяет определить факт изменения механических напряжений на данном участке подземного трубопровода за время между двумя измерениями постоянного магнитного поля.



## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВИХРЕТОКОВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ УЧАСТКОВ ГАЗОПРОВОДОВ

*Т.А. Ефремов, С.В. Рыбалко*

ООО «НПП «Нефтегаздиагностика»  
rybalko@neftegazdiagnostika.ru

В настоящее время при техническом диагностировании ЛЧ МГ и ТПО КС для поиска дефектов КРН широко применяются как портативные вихретоковые дефектоскопы с датчиками «карандашного» типа, так и наружные сканеры-дефектоскопы со значительной областью контроля.

Портативные вихретоковые дефектоскопы обладают высокой точностью при определении геометрических размеров дефектов КРН и вполне приемлемой ценой, но и существенным недостатком – низкой производительностью за счет применения датчика «карандашного» типа.

Наружные сканеры-дефектоскопы обладают меньшей точностью в определении геометрических размеров дефектов, на порядок большей стоимостью по сравнению с портативным оборудованием, а также достаточно высокой производительностью.

Указанные технические устройства заняли прочные позиции для решения задач технического диагностирования, но, как показала практика, такие устройства ограничены в применении.

Из-за низкой производительности портативные вихретоковые приборы затруднительно применять в условиях сплошной переизоляции. Наружные сканеры-дефектоскопы из-за высокой стоимости и сложных методик интерпретации результатов контроля также ограниченно используются.

Как портативные вихретоковые приборы, так и наружные сканеры-дефектоскопы нецелесообразно применять при предремонтной диагностике в составе комплекса работ мини-заводов по изоляции труб, бывших в употреблении.

Коллектив ООО «НПП «Нефтегаздиагностика» (ранее – ООО «Экспертиза»), имея многолетний опыт разработки портативных вихретоковых дефектоскопов, а также принимая участие в апробации различных типов сканеров-дефектоскопов, пришел к выводу, что необходимо разработать техническое устройство, которое возможно применить для оперативного поиска дефектов КРН как в трассовых условиях, так и в условиях мини-заводов по изоляции труб, бывших в употреблении.

Такое устройство было разработано – широкозахватный вихретоковый дефектоскоп «ДНШ-24». Имея относительно небольшие габаритные размеры и стоимость, прибор не уступает в производительности обследования труб таким наружным сканерам-дефектоскопам, как «ДНС-1400», а в точности при обнаружении дефектов КРН – портативным вихретоковым дефектоскопам «МВД-2МК», «ВК-1», «ВЕКТОР».

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, ВЫЗВАННЫХ КОРРОЗИОННЫМ ПОРАЖЕНИЕМ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

*Д.А. Алексеев, М.Л. Медведева*

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина  
daniil0712@rambler.ru

Коррозионный мониторинг – одна из основных проблем современного нефтегазового комплекса России. Ее решение позволит увеличить продолжительность межремонтных пробегов и существенно повысить надежность эксплуатации оборудования. Весьма перспективными являются системы мониторинга, использующие датчики акустической эмиссии (АЭ). Авторами доклада была выявлена возможность применения метода АЭ для регистрации коррозионного поражения, развивающегося с реальными для производственных условий скоростями, на углеродистой стали, которая является основным материалом оборудования нефтегазового комплекса.

Наибольший интерес сегодня для авторов представляет изучение параметров сигналов анодного процесса. Решение этой задачи даст возможность выявить основные приемы и методы получения наиболее достоверной информации о причинах появления акустико-эмиссионных сигналов при мониторинге процессов коррозии углеродистой стали и, следовательно, обосновать область применения акустико-эмиссионного мониторинга коррозионных процессов.

Таким образом, настоящая работа посвящена исследованию возможности применения метода акустической эмиссии для оценки возникновения и интенсивности развития общей коррозии углеродистой стали. При этом основное внимание уделяется не принципиальной возможности использования метода, а его работе в условиях, когда интенсивность поражения лежит в пределах, регламентированных нормативными документами на эксплуатацию оборудования нефтегазового комплекса страны.

## НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ СТРЕСС-КОРРОЗИОННОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ УЧАСТКОВ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

*С.С. Машуров<sup>1</sup>, А.М. Мирзоев<sup>1</sup>, М.С. Иващенко<sup>1</sup>, И.В. Ряховских<sup>2</sup>,  
Р.И. Богданов<sup>2</sup>*

1 – ЗАО «Аэрокосмический мониторинг и технологии»

2 – ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

ims@amt-rus.com

На сегодняшний день планирование участков магистральных газопроводов (МГ) в капитальный ремонт (КР) и разработка методов прогнозирования количества труб с дефектами коррозионного растрескивания под напряжением (КРН), подлежащих замене, осуществляется по данным периодических технических обследований с использованием внутритрубных дефектоскопов, которые в свою очередь имеют ряд ограничений и не всегда обладают необходимой точностью.

Указанные технологические и методические особенности планирования приводят к существенным отклонениям от ранее запланированных объемов отбраковки труб с дефектами КРН в процессе КР, а также в ряде случаев к непрогнозируемым отказам МГ по причине КРН.

По мнению авторов доклада, повышение точности прогнозирования стресс-коррозионной поврежденности труб возможно достичь путем декомпозиции факторов, ответственных за процесс КРН, и уточнения их значений с учетом гидрогеологических особенностей местности и степени агрессивности грунта. При этом оценку указанных факторов КРН целесообразно осуществлять с применением методов машинного обучения и обработки данных, например нейросетевых технологий.

С учетом вышеизложенного на основании выбранных факторов и их оценочных параметров авторами разработана нейросетевая модель стресс-коррозионной поврежденности МГ с целью повышения достоверности планирования участков МГ в выборочный и капитальный ремонт, а также прогнозирования объемов материально-технических ресурсов и предремонтных обследований в протяженных шурфах.

## **ОПЫТ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ И ЭКСПЛУАТАЦИИ УЧАСТКОВ ГАЗОПРОВОДОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ КРН**

*М.М. Кохановский*

ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Югорск»  
ММ.Kohanovskiy@tg.gazprom.ru

В докладе отражены:

- анализ и динамика изменения стресс-коррозионного состояния участков линейной части магистральных газопроводов (ЛЧ МГ) и технологических трубопроводов компрессорных станций (ТТ КС) ООО «Газпром трансгаз Югорск» за период не менее 5 лет;
- подходы к планированию и ремонту участков ЛЧ МГ и ТТ КС Общества, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением;
- результаты проведения диагностики труб с дефектами КРН в шурфах неразрушающими методами контроля на участках ЛЧ МГ;
- опыт диагностики, ремонта и эксплуатации участков ЛЧ МГ и ТТ КС, подверженных стресс-коррозионному растрескиванию.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТРУБОПРОВОДОВ КС, ПОДВЕРЖЕННЫХ КРН, С ПРИМЕНЕНИЕМ СКАНЕРА-ДЕФЕКТОСКОПА А2072 «INTROSCAN»**

*Д.А. Макарычев<sup>1</sup>, Ю.А. Седелев<sup>1</sup>, С.Ю. Ворончихин<sup>2</sup>, А.А. Самокрутов<sup>3</sup>*

1 – ООО «ЭНТЭ»

2 – ЗАО «ИнтроСкан Технолоджи»

3 – ООО «Акустические контрольные системы»

d.makarychev@ente-ltd.ru, y.sedelev@ente-ltd.ru

s.voronchikhin@introscan.ru; samokrutov@acsys.ru

Выявление дефектов типа коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) на технологических трубопроводах компрессорных станций (ТТ КС) как наиболее опасных является одной из важнейших и приоритетных задач технического диагностирования, проводимого с целью оценки технического состояния и определения срока безопасной эксплуатации объектов. Данную задачу можно решить, применяя современные средства внутритрубной диагностики. Компанией ЗАО «ИнтроСкан Технолоджи» совместно с ООО «ЭНТЭ» и ООО «Акустические контрольные системы» был разработан автономный роботизированный сканер-дефектоскоп А2072 «IntroScan» (далее – сканер). При реализации данного проекта была решена задача по внутритрубному обследованию сложных по конфигурации трубопроводных систем без нарушения их целостности и с минимальными подготовительными мероприятиями по очистке внутренней полости трубопровода от загрязнений.

Основным преимуществом сканера является применение ультразвуковых датчиков с сухим точечным контактом (СТК), что исключает необходимость применения контактных жидкостей и проведения мероприятий по очистке внутренней полости трубопровода от загрязнений. Датчики с СТК построены как многоэлементные антенные решетки, позволяющие применять алгоритмы фазировки и фокусировки сигналов. Это позволяет реализовать метод низкочастотного ультразвукового волноводного контроля для высокопроизводительного поиска дефектов основного металла элементов обследуемого трубопровода.

В данном докладе представлены результаты опытно-промышленной эксплуатации (ОПЭ) сканера на объектах ПАО «Газпром» в период 2015–2016 гг. В результате ОПЭ выявлены и подтверждены в шурфах «плоскостные» дефекты основного металла, идентифицированные как дефекты трещиноподобного типа, и «объемные» дефекты, идентифицированные как дефекты типа «коррозионные каверны».

Применение сканера на объектах КС ПАО «Газпром» позволяет не только с высокой степенью точности определять места образования КРН, но и производить мониторинг развития трещин.

## ВОЗМОЖНОСТИ И СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ГЛУБИНЫ КРН УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

*В.В. Силин, А.А. Самокрутов*

ООО «АКС-Сервис»  
info@acs-service.ru

Компании «Акустические Контрольные Системы» и «АКС-Сервис» в настоящий момент успешно взаимодействуют в плане разработки приборов и методов ультразвукового контроля.

Компаниями впервые в мире был разработан и в настоящий момент успешно эксплуатируется ультразвуковой дефектоскоп-томограф A1550 IntroVisor, работающий на методе цифровой фокусировки апертуры (ЦФА). Данный метод имеет множество преимуществ перед методом фазированной антенной решетки (ФАР).

Также разработан уникальный сканер-дефектоскоп A2075 SoNet для диагностики магистральных труб, работающий на бесконтактном методе (ЭМА).

В настоящее время компании работают над решением многих задач, связанных с неразрушающим контролем газовых труб. Развитие технологии ультразвукового контроля газовых труб видится по следующим направлениям:

- использование многоэлементных преобразователей (антенных решеток) в сочетании с алгоритмами пространственно-временной обработки данных (ЦФА);

- развитие безжидкостных технологий формирования и приема УЗ-колебаний – электромагнитно-акустической (ЭМА) и сухого точечного контакта (СТК);

- развитие волноводного (направленных волн) метода контроля;

Измерение глубины КРН – одна из основных задач при диагностике газовых труб, для решения которой компании «Акустические Контрольные Системы» и «АКС-Сервис» развивают следующие направления работ:

- метод ЦФА:

- можно использовать серийно выпускаемый прибор A1550 IntroVisor;

- нужно использовать притертые АР под каждый диаметр трубы;

- ожидаемая относительная погрешность метода – не более 0,1–0,3 мм;

- проектирование специализированной АР с увеличенной апертурой и более низкой рабочей частотой для визуализации всего очага КРН с установкой АР в бездефектном участке;

- нельзя точно измерить глубину трещины, если АР установлена на трещину;

- метод СТК:

- разработка и внедрение антенной решетки на базе преобразователей СТК с частотой 2,5 МГц;

- использование SH-волны;

- разработка ПО для работы данного метода на базе прибора A1550 IntroVisor;
- ожидаемая относительная погрешность метода – не более 0,1–0,3 мм;
- контроль производится непосредственно по очагу КРН;
- метод ЭМА АР:
  - находится в стадии начального проектирования;
  - погрешность измерения глубины КРН больше, чем в первых двух методах.

**КОНЦЕПЦИЯ ОЦЕНКИ ТРЕЩИН СТРЕСС-КОРРОЗИИ ПРИ ПОМОЩИ  
УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ПОРТАТИВНОГО ПЕРЕНОСНОГО  
ВИХРЕТОКОВОГО КОМПЛЕКСА ОЦЕНКИ ТРЕЩИН  
СТРЕСС-КОРРОЗИИ В СОСТАВЕ ПЕРЕДВИЖНОЙ ЛАБОРАТОРИИ  
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ  
ГАЗОПРОВОДОВ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ  
«ГАЗЕЛЬ NEXT ELECTRO»**

*А.И. Коробкин*

АО «СпецАвтоИнжиниринг»  
a.korobkin@sai-holding.ru

В процессе эксплуатации металлических труб магистральных газопроводов (МГ) их основной металл подвержен развитию трещин стресс-коррозии (далее – трещины). Оценка параметров трещин (протяженность, глубина, площадь покрытия) при помощи метода ВТК в составе средств комплексного НК труб МГ на заключительном этапе принятия решения о замене дефектного участка позволит сделать выводы о необходимости ремонта участка трубопровода с наличием трещин.

В настоящее время АО «СпецАвтоИнжиниринг» разрабатывает передвижные лаборатории НК на базе электромобиля «ГАЗель NEXT Electro» и проводит совместно с ООО «Газпром ВНИИГАЗ» испытания усовершенствованного портативного переносного вихретокового комплекса оценки трещин стресс-коррозии (ППВКСК), входящего в состав лаборатории.

Отображение сигналов от дефектов в комплексной плоскости позволяет отличать сигнал дефекта от сигнала помех. Автоматическое измерение амплитуды и фазы сигнала обеспечивает возможность оценки величины дефекта при анализе данных. Измеренные значения фазы или амплитуды напряжения необходимы для оценки величины дефекта в соответствии с выбранной калибровочной кривой. Такая кривая обеспечивает сопоставление параметров амплитуды или фазы сигнала с параметрами дефекта в миллиметрах.

При помощи специализированных СОП и вихретоковых преобразователей ППВКСК позволяет с максимальным приближением оценивать плотность трещин, их направление, площадь покрытия и глубину.

В связи с Указом президента РФ В.В. Путина о проведении Года экологии в 2017 г. АО «СпецАвтоИнжиниринг» совместно с группой ГАЗ разработали и производят электромобили «ГАЗель NEXT Electro» «Мобильная лаборатория» и «Мобильная мастерская».