

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и инновационной  
работе, д.т.н., профессор

Р.А. Исмаков

«12»

апрель

2017 г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический  
университет» (ФГБОУ ВО «УГНТУ»)

на диссертационную работу

**ЗОРИНА АЛЕКСАНДРА ЕВГЕНЬЕВИЧА**

**«Научно-методическое обеспечение системы поддержания  
работоспособности длительно эксплуатируемых газопроводов»,**  
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по  
специальности 25.00.19 – Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов,  
баз и хранилищ

### 1. Актуальность диссертационной работы

Анализируя накопленный опыт эксплуатации газопроводов ПАО «Газпром» можно увидеть, что применяемые подходы к обслуживанию объектов транспорта газа всегда адекватно отражали существовавшие реалии и, в соответствии с изменением последних, сами обновлялись и совершенствовались.

Так, в период 1970 – 1990 гг. поддержание работоспособности газопроводов сводилось к выполнению ремонтов методом полной замены участка, содержащего достаточное количество критических и докритических дефектов, обнаруженных при проведении выборочных обследований в шурфах.

В 90-е годы рост дефектности обусловил появление внутритрубной диагностики и создание на ее основе различных аналитических систем, использующих полученную информацию о поврежденности различных участков для расстановки приоритетности и сроков выполнения выборочных ремонтов, что привело к минимизации затрат на обслуживание газопроводов при сохранении приемлемого уровня аварийности.

В начале 2000-х годов обнаружилась проблема, связанная с износом изоляции на основных газовых магистралях. Как следствие, были



разработаны и реализованы масштабные программы по переизоляции газопроводов, включавшие в себя диагностику труб, устранение выявленных дефектов и нанесение современных типов изоляционных покрытий.

В последние несколько лет можно отметить формирование новых реалий, задающих вектор всего научно-технического развития в области сопровождения эксплуатации газопроводов. К таким реалиям относятся общее старение основных газотранспортных коридоров, прогрессирующее развитие на них чрезвычайно опасных стресс-коррозионных дефектов и других повреждающих процессов, строительство современных стратегически важных газопроводов повышенного давления, к которым предъявлены более жесткие требования по надежности и безопасности, ограниченность финансовых средств, выделяемых на поддержание работоспособного состояния Единой Системы Газоснабжения (ЕСГ) России.

Иными словами сейчас национальная газотранспортная система проходит так называемую точку бифуркации, требующую принципиального изменения подходов к обслуживанию: применение более гибкой системы принятия решений о планировании и назначении профилактических мероприятий на основании определения текущего технического состояния и условий эксплуатации рассматриваемых объектов.

Поэтому, тематика представленной автором диссертационной работы, отражающая современные потребности в развитии методологии ремонтно-технического обслуживания газопроводов, без сомнения является актуальной.

## **2. Новизна полученных результатов**

Автором на высоком научно-техническом уровне решен ряд важных задач, которые в результате проведенных исследовательских работ позволили сформулировать следующие положения, обладающие научной новизной.

Показано, что дальнейшее значимое повышение достоверности прогнозирования работоспособности газопроводов возможно при использовании критериев микро- и макромеханики разрушения, с учетом соответствующих конструктивных и технологических особенностей. Для этой цели разработана методика лабораторного моделирования процесса нагружения газопровода, позволяющая воспроизводить объемность напряженно-деформированного состояния труб от действия внутреннего давления, направление прикладываемых нагрузок, относительно ориентации проката, и сохранять поврежденность, накопленную в трубах в процессе изготовления и эксплуатации.

Установлено, что нестационарное нагружение газопровода в амплитудно-частотном спектре, формируемом режимом транспорта газа, приводит к развитию в трубах трещин и трещиноподобных дефектов. На основании параметров распространения трещин, определенных в ходе



проведения полигонных испытаний, показано, что режим эксплуатации в качестве самостоятельного фактора способен обеспечить разрушение газопровода толщиной стенки 15,7 мм от поверхностной трещины глубиной 2 мм за период, сопоставимый с жизненным циклом объекта.

По результатам выполнения комплексных экспериментальных исследований установлен характер влияния энергии упругой деформации газопровода на его сопротивляемость разрушению, функционально описываемый полученной эмпирической зависимостью

$$K_W = \frac{1}{e^{100W_{уд}}} + \frac{1}{1 + e^{-100W_{уд}}} - 0,5$$
, где  $W_{уд}$  – удельная энергия упругой деформации газопровода, МДж/м;  $K_W$  – коэффициент падения трещиностойкости труб. Корректность данного выражения подтверждена на различных типах трубных сталей в диапазоне эксплуатационных нагрузок газопроводов: для стали X70 при нагрузке, эквивалентной внутреннему давлению в 7,4 МПа; для стали 17Г1С при нагрузке, эквивалентной внутреннему давлению в 5,4 МПа.

Разработан способ и не имеющий аналогов переносной диагностический комплекс, успешно апробированные на трубных сталях различного класса прочности, позволяющие на основании сравнительного анализа представительного массива значений микротвердости поверхности трубы до и после эксплуатации качественно оценить протекание в металле таких процессов, как упрочнение, образование микротрещин, старение. Для подтверждения результатов экспресс-диагностики предложен новый способ испытаний на ударный изгиб, обеспечивающий повышенную чувствительность работы разрушения к состоянию приповерхностных слоев металла труб, наиболее подверженных различным деградационным явлениям.

Разработана расчетно-экспериментальная модель обработки данных функционального диагностирования газопроводов. Реализованные в модели алгоритмы позволяют определить актуальные количественные характеристики условий эксплуатации участка газопровода, используемые для совершенствования методических подходов к планированию ремонтных работ: общая загруженность, характер нестационарного нагружения, уровень запасенной энергии упругой деформации, текущее состояние металла труб.

Показано, что сопротивляемость разрушению сварных соединений, полученных при ремонте труб, в значительной степени зависит от состояния металла в зоне сварки и не зависит от типа ремонтируемого дефекта. Экспериментально определено, что критериями ремонтпригодности газопровода с применением сварочных технологий являются отсутствие в дефектной зоне микротрещин и следов протекания процесса старения, поскольку они приводят к падению циклической трещиностойкости отремонтированного участка трубы в среднем на 25 ÷ 65%.



### **3. Личный вклад автора**

По результатам рассмотрения диссертационной работы, автореферата, а также анализа опубликованных А.Е. Зориным научных трудов установлено, что автором:

- проведен анализ текущего состояния ЕСГ, реализуемых в настоящее время подходов к ее обслуживанию и разработана общая концепция усовершенствованной системы поддержания работоспособности газопроводов;

- сформулированы задачи, решение которых позволяет реализовать вышеуказанную концепцию;

- разработаны программы, в соответствии с которыми проведен комплекс аналитических исследований, лабораторных и полигонных испытаний, а также конструкторских работ, направленных на решение различных задач в области функционального диагностирования, обслуживания и ремонта газопроводов;

- предложен ряд методических подходов, обеспечивающих использование полученных результатов на практике;

- проведена апробация разработанных методик и опытная эксплуатация созданных технических средств.

### **4. Степень достоверности результатов и обоснованность выводов**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, а также достоверность результатов исследований определяются:

- грамотным планированием и корректным исполнением экспериментальных исследований (выбор оптимальной методики испытаний, учет критически важных факторов, контроль необходимых параметров, выполнение статистической обработки экспериментальных данных);

- использованием при испытаниях современного поверенного оборудования (разрывных машин, маятниковых копров, микротвердомеров, трансмиссионных микроскопов, источников рентгеновского излучения, тензодатчиков, сварочных источников, дефектоскопов для выполнения неразрушающего контроля и т. д.);

- достижением повторяемости результатов испытаний;

- подтверждением полученных результатов альтернативными методами (к примеру, данные, получаемые с помощью замеров микротвердости подтверждаются результатами трансмиссионной микроскопии, показания оптоволоконных датчиков подтверждаются программным моделированием с использованием метода конечных элементов и т. д.);

- принципиальной согласованностью результатов с общими фундаментальными положениями механики разрушения, теории сварочных процессов, металловедения, механики деформированного твердого тела,



сопротивления материалов, а также с результатами, полученными авторитетными авторами при изучении смежных вопросов;

- отзывами о положительных результатах внедрения ряда разработанных технологий и методических подходов.

## **5. Значимость результатов исследований для науки**

Значимость полученных в диссертационной работе результатов для науки заключается в:

- разработке способа лабораторного моделирования процесса нагружения газопровода внутренним давлением, позволяющего при изучении влияния на трубопровод различных факторов и воздействий более широко использовать практические методы исследования, а также во многих случаях отказаться от проведения трудоемких и дорогостоящих полигонных испытаний без снижения информативности и достоверности получаемых результатов;

- установлении и экспериментальном подтверждении влияния нестационарной составляющей эксплуатационных нагрузок газопроводов на процесс развития трещин в трубах;

- разработке подхода к исследованию энергетического фактора и установлению эмпирической функциональной зависимости влияния удельной энергии упругой деформации трубопровода на его сопротивляемость разрушению;

- разработке способа неразрушающей качественной оценки состояния металла, основанного на измерении значений микротвердости, а также мобильного диагностического комплекса реализующего данный способ на трубных конструкциях;

- разработке усовершенствованной методики планирования ремонтных работ на газопроводах, позволяющей учесть дополнительные сведения о текущем состоянии и фактических особенностях эксплуатации анализируемых участков газопроводов;

- экспериментально установленных критериях выбора оптимальных методов ремонта бывших в эксплуатации труб.

## **6. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Полученные в работе результаты позволяют повысить научно-технический уровень и эффективность таких важнейших звеньев в производственной цепочке мероприятий, направленных на поддержание безопасности и эксплуатационной надежности газопроводов, как:

- выполнение экспертизы промышленной безопасности опасных производственных объектов в системе транспорта газа;



- оценка технического состояния и целостности как отдельных элементов (труб, трубных секций), так и целых газотранспортных коридоров;
- выполнение мониторинга участков газопроводов, эксплуатируемых в сложных природно-климатических условиях, либо участков, представляющих стратегическую важность;
- планирование профилактических мероприятий (выборочных и капитальных ремонтов, мониторинга, корректировки режимов транспорта газа и т. д.) на газопроводах;
- выполнение ремонта дефектов труб: при проведении выборочных и капитальных ремонтов, при подготовке труб к повторному применению.

Следует отметить, что представленная в диссертационной работе концепция функционального диагностирования газопроводов и методические подходы для ее реализации уже во многом нашли свое отражение в профильной нормативно-технической документации ПАО «Газпром» и его дочерних обществ и применяются для решения практических задач, что подтверждает актуальность и прикладную значимость проведенных исследований:

- разработанная методика планирования на газопроводах ремонтных работ легла в основу профильных нормативных документов ОАО «Оргэнергогаз» и ПАО «Газпром» и использована при формировании программ капитального ремонта участков линейной части магистральных газопроводов. Ежегодный экономический эффект от ее применения превышает 500 млн. рублей;
- способ неразрушающей экспресс-оценки состояния металла и диагностический комплекс для его реализации использованы АО «Краснодаргазстрой» при подготовке труб к повторному применению с целью повышения качества продукции, для чего разработан соответствующий нормативный документ;
- методика лабораторного моделирования процесса нагружения газопровода внутренним давлением, а также способ проведения испытаний металла труб на ударный изгиб приняты к внедрению в ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

## **7. Предложения и замечания по диссертационной работе**

По диссертационной работе имеются следующие замечания и предложения:

1) В последнем абзаце научной новизны употреблен термин "критерий" в отношении целесообразности применения сварочных технологий (отсутствие в дефектной зоне микротрещин и следов протекания процесса старения). Такая формулировка представляется не вполне корректной, поскольку критериями принято называть какие-то количественные показатели.

2) Получение состаренного металла посредством температурной обработки производилось с отступлениями от параметров, установленных



ГОСТ 7268-82 "Сталь. Метод определения склонности к механическому старению по испытанию на ударный изгиб".

3) Предлагаемые подходы к оценке протекания в металле процессов деформационного старения, основанные только на результатах электронной микроскопии и измерений микротвердости, представляются не вполне убедительными. Поскольку утверждать об этом без лабораторной оценки изменений физико-механических и электротехнических свойств стали нельзя.

4) Для полноты исследования влияния нестационарного нагружения на сопротивляемость разрушению трубопроводов в работе следовало бы рассмотреть помимо продольных трещин еще феномен образования поперечных трещин.

5) В соответствии с ГОСТ 21.206-2012 номинальный диаметр трубопроводов принято условно обозначать «DN», в работе использовались отмененные условные обозначения «Ду».

## **8. Заключение**

Отмеченные замечания не снижают актуальности работы, не являются определяющими при оценке новизны и практической ценности основных научных положений и результатов диссертации, а также не ставят под сомнение их достоверность.

Диссертационная работа написана технически грамотным языком, снабжена исчерпывающим иллюстративным материалом. Автореферат корректно и полно отражает основное содержание работы.

Основные выводы и результаты диссертационного исследования прошли апробацию на ряде крупных международных конференций, семинаров и деловых встреч, опубликованы в 31 печатной работе (в том числе в 20 из них – в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ), защищены патентами РФ на изобретения и полезные модели.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой разработана прогрессивная методология функционального диагностирования и ремонтно-технического обслуживания газопроводов, отвечающая существующей проблематике общего старения национальной газотранспортной системы, внедрение которой вносит значительный вклад в развитие нефтегазовой отрасли, отраслей, эксплуатирующих ответственные металлоконструкции и, в конечном итоге, страны в целом. Направление поставленных в работе задач, полученной научной новизны и защищаемых положений соответствует п.6 и п.7 областей исследования специальности 25.00.19 - Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ.

Диссертационная работа "Научно-методическое обеспечение системы поддержания работоспособности длительно эксплуатируемых газопроводов" соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к докторским



диссертациям, а ее автор Зорин Александр Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.19 - Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ.

Диссертационная работа А.Е. Зорина была заслушана 12.04.2017 г. на расширенном заседании кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (протокол №8).

Заведующий кафедрой «Транспорт  
и хранение нефти и газа»,  
доктор технических наук, профессор



Борис Николаевич Мастобаев

Профессор кафедры «Транспорт  
и хранение нефти и газа»,  
доктор технических наук, доцент



Сергей Владимирович Китаев

Мастобаев Борис Николаевич  
ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
заведующий кафедрой «Транспорт и хранение нефти и газа»,  
доктор технических наук, профессор  
450062, РБ, г.Уфа, ул. Космонавтов, 8/3, корпус 2в, к. 301  
Тел.: +7 (347) 243-11-77, E-mail: [pipeline@rusoil.net](mailto:pipeline@rusoil.net)

Китаев Сергей Владимирович  
ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Профессор кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа»,  
доктор технических наук, доцент  
450062, РБ, г.Уфа, ул. Космонавтов, 8/3, корпус 2в, к. 314  
Тел.: +7 (347) 243-11-77, E-mail: [Svkitaev@mail.ru](mailto:Svkitaev@mail.ru)

Подписи Мастобаева Б.Н. и Китаева С.В. заверяю:

начальник ОРП Дадаян О.А.

« 12 » апреля

2017 г.

