

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента,**

доктора технических наук Сенцова Сергея Ивановича 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»

### **Актуальность работы**

Концепция развития газотранспортной системы ПАО «Газпром» выделяет в качестве одной из наиболее приоритетных задач повышение эффективности использования имеющихся и вводимых производственных мощностей. Решение данной задачи напрямую связано с научно-техническим уровнем и результативностью мероприятий по сопровождению эксплуатации газопроводов. Указанные мероприятия включают в себя целый комплекс аналитических и практических работ, целью которых является получение актуальной информации о техническом состоянии газовых магистралей и выбор оптимальных и своевременных мер, достаточных для поддержания приемлемого уровня надежности и безопасности анализируемых объектов.

В качестве особенностей национальной газотранспортной системы следует выделить ее значительную протяженность, изменение климатических и природных условий по трассе трубопроводов (широкий диапазон температур, различный рельеф местности, разнообразие геологических, криологических и сейсмических процессов в грунтах, их различная коррозионная активность), существенные различия в сроках эксплуатации различных газопроводов. Все это определяет уникальность каждого отдельно взятого участка газопровода по совокупности условий эксплуатации.

Принимая во внимание обозначенные выше обстоятельства, развитие организационно-технической системы поддержания работоспособности газопроводов должно включать в себя: совершенствование методов и средств диагностики газопроводов, развитие технологий мониторинга технического состояния потенциально опасных участков газопроводов и интеграцию получаемых экспериментальных данных в аналитические системы, производящие выбор необходимых профилактических мероприятий и сроков их проведения.

В связи с изложенным выше, диссертационная работа, посвященная созданию методов, средств и аналитических моделей, позволяющих получать актуальные сведения о текущем состоянии и фактических условиях эксплуатации газопроводов и использовать их для назначения эффективных профилактических мер является актуальной.

### **Научная новизна и практическая значимость результатов работы**

Научная новизна обусловлена актуальной проблематикой диссертационной работы: необходимостью получения расширенных сведений о фактических особенностях эксплуатации отдельных участков газопроводов, формирующихся вследствие совокупного влияния на анализируемый объект механических, коррозионных, динамических и структурных факторов.

В своей работе диссертант комплексно подошел к достижению поставленной цели. Прежде всего, следует отметить разработанную методику лабораторного моделирования процесса нагружения газопровода внутренним давлением, которая позволяет воспроизводить основные условия, возникающие в процессе эксплуатации труб (связанные с конструктивным исполнением и особенностями приложения нагрузок). В данной методике удалось устранить принципиальные проблемы и недостатки, содержащиеся в существующих аналогах. Ценность указанной разработки заключается в обеспечении возможности проведения

расширенных экспериментальных исследований влияния на газопровод различных воздействий с обеспечением высокой достоверности получаемых результатов.

Большого внимания заслуживают исследования автором ряда эксплуатационных факторов, а именно: нестационарного нагружения и уровня аккумулируемой в металле газопровода удельной энергии упругой деформации. Убедительные результаты, полученные при проведении комплексных экспериментов, в том числе натурных полигонных испытаний трубных плетей, показали существенное влияние указанных факторов на сопротивляемость газопроводов разрушению и, как следствие, необходимость их детального изучения и учета при выполнении функционального диагностирования.

К числу главных научных достижений работы, безусловно, следует отнести разработанный автором способ неразрушающей оценки состояния металла, основанный на измерении и последующем сравнении представительного массива значений микротвердости поверхности трубы до и после эксплуатации и позволяющий качественно оценить деградационные процессы, протекающие в металле. Отсутствие к настоящему времени жизнеспособных аналогов указанного способа позволяет говорить о настоящем прорыве в области выполнения функционального диагностирования длительно эксплуатируемых конструкций.

Для подтверждения результатов экспресс-диагностики предложен новый способ испытаний на ударный изгиб, обеспечивающий повышенную чувствительность работы разрушения к состоянию приповерхностных слоев труб, наиболее подверженных эксплуатационным и возрастным повреждениям.

Сильной стороной диссертационной работы является практическая значимость полученных результатов. Представленные подходы и методики разработаны с учетом реальных условий эксплуатации газопроводов, а также сложившихся норм их организационно-технического обслуживания.

В частности, для реализации способа неразрушающей оценки состояния металла труб разработан уникальный диагностический комплекс, включающий в себя блок для механизированной подготовки поверхности труб и автоматизированный микротвердомер, адаптированные к автономной работе в трассовых условиях и учитывающие основные конструктивные и технологические особенности эксплуатируемых газопроводов.

Установленный характер влияния на газопровод дополнительных факторов, определяющих фактические особенности его эксплуатации, а также обеспеченная возможность получения оперативных сведений о состоянии металла труб, позволили автору создать новую адаптивную методику планирования ремонтных работ на магистральных газопроводах. Опыт использования методики показал, что она позволяет не только обеспечить высокий научный уровень принятия решения о выводе газопроводов в ремонт, но и получить значительный экономический эффект.

Научно-практическим достижением работы следует признать установленную связь между повреждением металла в дефектной зоне и эффективностью выполнения ремонтных работ. Показано, что сопротивляемость разрушению сварных соединений, образовавшихся в результате ремонта тела труб, в значительной степени зависит от состояния металла труб 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. Полученные результаты позволили разработать алгоритм для выбора оптимальных методов ремонта бывших в эксплуатации труб, а также показали насколько важен индивидуальный подход к выполнению любых профилактических мероприятий на каждом из этапов организационно-технического обслуживания газопроводов в условиях

ограниченности ресурсов и прогрессирующей тенденции общего старения газотранспортной системы России.

### **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в настоящей диссертационной работе определяется рациональным сочетанием эмпирического и аналитического подхода к исследованиям. То есть, новые эффекты и закономерности выявляются в результате экспериментальных исследований, выполненных с использованием аттестованного и поверенного оборудования, и подтверждаются основополагающими теоретическими положениями в соответствующих областях знаний.

Также следует отдельно упомянуть методическую грамотность поставленных экспериментов: наличие теоретического обоснования проводимых исследований, проработанность в точности воспроизведения условий эксплуатации анализируемых конструкций, достижение повторяемости и стабильности результатов.

### **Содержание диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы из 208 наименований и 3 приложений. Содержит 332 страницы текста, включая 159 рисунков и 55 таблиц.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, изложены цель и задачи работы, научная новизна, выдвинутые защищаемые положения, а также практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** представлен обзор основных особенностей национальной газотранспортной системы, ее технического состояния. Проведен углубленный анализ статистических данных по аварийности газопроводов (по типам дефектов, маркам сталей, удаленности от

компрессорных станций, сроку службы и т. д) с целью определения фундаментальных причин возникновения на них разрушений.

Для установления влияния возрастного фактора на работоспособность газопроводов выполнены комплексные исследования, заключающиеся в аналитической оценке теоретической конструктивной прочности реальных участков с коррозионными дефектами, и трубной плети при проведении специального натурного эксперимента. Результаты исследований продемонстрировали, что несмотря на экспериментально подтвержденную корректность расчетной методики ПАО «Газпром», ее использование для оценки работоспособности длительно эксплуатируемых участков газопроводов не может считаться достаточным и целесообразным.

На основании проведенного анализа предложена новая концепция функционального диагностирования газопроводов, основанная на применении эмпирических методах исследования и предусматривающая использование полученных результатов при планировании и выполнении профилактических мероприятий на газопроводах.

**Во второй главе** проведены исследования основных факторов, формирующих реальные эксплуатационные характеристики газопроводов: напряженно-деформированное состояние (НДС) труб, функциональные нагрузки, энергия упругой деформации трубопровода.

Для выполнения разнообразных экспериментальных исследований металла труб с соблюдением необходимой объемности НДС, схемы приложения нагрузок и других конструктивных и эксплуатационных особенностей трубопроводов, представлена методика лабораторного моделирования процесса нагружения трубопровода внутренним давлением, в основе которой лежит испытание специальной конструкции образца. Корректность данной методики подтверждена проведением специальных тензометрических измерений.

В рамках исследования функциональных нагрузок газопроводов оценивалось влияние режимов транспорта газа на зарождение и развитие трещин в трубах. Проведение полигонных и лабораторных испытаний подтвердило высказанное предположение о способности амплитудно-частотного спектра циклических нагрузок, фиксируемых в газопроводе, приводить к развитию трещин в трубах.

Изучение влияния энергии упругой деформации трубопровода заключалось в проведении комбинированных испытаний нескольких типов образцов и трубной плети на циклическую трещиностойкость. Результаты позволили установить эмпирический коэффициент влияния энергетического фактора на сопротивляемость трубопровода разрушению, корректность которого была подтверждена на нескольких типах сталей в диапазоне эксплуатационных нагрузок газопроводов.

**Третья глава** посвящена разработке нового способа неразрушающей экспресс-диагностики состояния металла труб.

За основу способа взят метод измерения микротвердости и сделано предположение, что получение представительного массива микротвердости исследуемой зоны конструкции и сравнение его с базовым распределением микротвердости той же конструкции позволяет идентифицировать протекание в металле следующих основных повреждающих процессов: изменение микроструктуры, образование микротрещин, старение.

Комплексные исследования выполнялись на разных типах сталей (СтЗсп5, 17Г1С, Х70), находящихся в различных структурных состояниях (исходное состояние, после различных видов механического нагружения и термообработки и т.д.), и включали в себя многократное получение массивов значений микротвердости, проведение электронно-микроскопических исследований и рентгеноструктурного анализа. В результате для каждого из процессов деградации металла был установлен соответствующий критерий, позволяющий обнаруживать его с применением разработанного способа.

Для лабораторного подтверждения результатов неразрушающей оценки состояния металла труб представлен новый метод испытания на ударный изгиб, адаптированный к конструктивным особенностям труб, который согласно проведенным испытаниям обеспечивает большую достоверность результатов в сравнении с методом по ГОСТ 9454-78.

**В четвертой главе** приведены результаты разработки и апробации переносного диагностического комплекса для реализации представленного в третьей главе способа неразрушающей экспресс-оценки состояния металла.

Первой составляющей комплекса является блок механизированной подготовки поверхности, который, как показано, обеспечивает оперативную и стабильную подготовку поверхности труб, удовлетворяющую требованиям ГОСТ 9450-76 для измерения микротвердости. Второй составляющей комплекса является автоматизированный переносной микротвердомер MicroLab-Z1, выполняющий получение и обработку массива значений микротвердости с поверхности исследуемой зоны площадью  $\approx 0,3 \text{ мм}^2$ . Испытания микротвердомера показали его очень высокую стабильность и достоверность, превосходящие стационарные аналоги.

Опытная апробация диагностического комплекса на объекте капитального ремонта газопровода «КРП-14 – Серпухов (КГМО II)» показала его высокую приспособленность к конструктивным и эксплуатационным особенностям трубопроводов.

**Пятая глава** посвящена разработке усовершенствованной методики планирования ремонтных работ на газопроводах.

Необходимость учета дополнительных факторов при расстановке приоритетности вывода участков газопроводов в ремонт обосновывается результатами проведенных в предыдущих главах экспериментально-аналитических исследований. Такими факторами выбраны: общая загруженность участка; нестационарное нагружение участка; средняя удельная энергия упругой деформации участка; состояние металла труб.



Для вычисления количественного влияния каждого из факторов предложены соответствующие соотношения, отражающие установленные причинно-следственные связи указанных факторов с сопротивляемостью газопровода разрушению.

Для автоматизации обработки исходных данных об участке газопровода разработан специальный программный продукт «АУН-1».

Анализ опыта применения разработанной методики на объектах линейной части газопроводов ПАО «Газпром» показал, что за счет более достоверного определения технического состояния анализируемых объектов удастся не только актуализировать выводимые в ремонт участки, но и оптимизировать разрабатываемые программы капитального ремонта, обеспечивая получение значительного экономического эффекта.

**В шестой главе** представлены результаты исследований влияния состояния металла в дефектной зоне на работоспособность отремонтированных участков труб (на примере применения для ремонта сварочных технологий).

Проводились аналитические исследования с использованием расчетных методик и программного комплекса ANSYS, а также испытания образцов разработанной конструкции и полигонные испытания трубной плети.

В результате было показано, что работоспособность отремонтированных участков не зависит от типа ремонтируемого дефекта, а в значительной степени определяется состоянием металла в дефектной зоне.

Как следствие, используя возможность получения оперативных сведений о состоянии металла труб, предложен алгоритм для выбора оптимальных методов ремонта бывших в эксплуатации труб, позволяющий существенно повысить обоснованность и эффективность данного процесса.

### **Список замечаний по автореферату и диссертации**

1. Разработанная автором методика испытаний на ударный изгиб безусловно заслуживает положительной оценки, однако существующая

номенклатура труб включает в себя широкий спектр диаметров и толщин стенок. В этой связи возникает вопрос об унификации размеров предложенной конструкции образцов и сопутствующих этому ограничениях (связанных, к примеру, с невозможностью изготовления образцов из тонкостенных труб малых диаметров).

2. Автором разработан способ неразрушающей оценки состояния металла, основанный на сравнении представительных массивов микротвердости конструкции до и после эксплуатации. В то же время, из автореферата и диссертации не ясно применим ли данный способ для оценки состояния металла сварных соединений.

3. При проведении опытной эксплуатации диагностического комплекса для неразрушающей оценки состояния металла труб не рассматривается вопрос защиты микротвердомера от ветровых нагрузок, дождя и снега, которые могут оказать существенное влияние на получаемый результат.

4. В методике планирования ремонтных работ на газопроводах следовало бы все-таки предусмотреть учет температурного фактора, поскольку, несмотря на то, что его влияние на эксплуатационные характеристики труб в исходном состоянии отсутствует, подобного нельзя утверждать в случае наличия в металле труб критических повреждений.

Приведенные замечания не снижают общей высокой оценки представленной работы, ее научной и практической ценности, и могут рассматриваться в качестве рекомендаций к дальнейшему развитию данной тематики исследований.

**Заключение о соответствии диссертационной работы критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней**

Представленная к защите диссертационная работа Зорина Александра Евгеньевича на тему «Научно-методическое обеспечение системы

поддержания работоспособности длительно эксплуатируемых газопроводов» по специальности 25.00.19 - «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ» является научно-квалификационной работой, в которой предложена новая концепция сопровождения эксплуатации газопроводов и разработан соответствующий инструментарий для реализации данной концепции, вносящие существенный вклад в развитие национальной газотранспортной системы и топливно-энергетического комплекса страны в целом.

Диссертация по своему содержанию соответствует пп.6 и 7 области исследования вышеуказанной специальности, ввиду того, что затрагивает вопросы разработки и усовершенствования методов эксплуатации и технической диагностики линейной части трубопроводов, а также вопросы прогнозируемого и остаточного ресурса трубопроводных конструкций.

Содержание автореферата соответствует диссертационной работе, раскрывает этапы, логику и ход выполненных автором исследований. Главы диссертации изложены в автореферате достаточно репрезентативно, с описанием методик проведения исследований, выкладкой основных научных результатов и выводов.

Диссертация выполнена автором на высоком научном уровне, характеризуется внутренним единством и содержит новые научные результаты, свидетельствующие о личном вкладе автора в науку.

Предложенные в работе научные и технические решения обсуждались на различных международных конференциях и семинарах, опубликованы в открытой печати (в 32 научных работах, в том числе 20 из них - ведущие рецензируемые журналы ВАК Минобрнауки РФ, 6 из них - патенты РФ) и нашли отражение в действующей нормативной документации.

По результатам анализа диссертационной работы Зорина Александра Евгеньевича на тему «Научно-методическое обеспечение системы поддержания работоспособности длительно эксплуатируемых газопроводов», считаю, что работа соответствует всем требованиям Положения о

присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.19 - «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ».

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры «Сооружение и  
ремонт газонефтепроводов и хранилищ»  
РГУ нефти и газа (НИУ)  
имени И.М. Губкина

Сенцов Сергей Иванович

«24» мар 2017 г.

Подпись С.И. Сенцова заверяю

*Нагалева Ольга Николаевна*



---

Адрес организации: 119991, г. Москва, проспект Ленинский, д. 65, корпус 1.

Название: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина».

Телефон: 8(499)507-8795

E-mail: [srgnp@mail.ru](mailto:srgnp@mail.ru)