

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Зорина Александра Евгеньевича на тему «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 темы диссертационной работы

Газотранспортная система России является крупнейшей в мире по протяженности и объему оказываемых товаротранспортных услуг. Надежность и безопасность поставок газа потребителям в первую очередь зависят от работоспособности магистральных трубопроводов газа, большинство из которых эксплуатируется более 30 лет. Основные угрозы целостности газотранспортной сети являются следствием деградации механических свойств металла труб при длительной эксплуатации.

Несмотря на то, что благодаря современным методам внутритрубного диагностирования, мониторинга и прогнозирования технического состояния, а также своевременному ремонту трубопроводов, абсолютное количество аварий снижается, на современном этапе говорить о достаточной эффективности применяемого комплекса организационно-технических мероприятий по обслуживанию данных объектов преждевременно. Стресс-коррозия остается доминирующей причиной, снижающей надежность трубопроводных систем в условиях длительного нестационарного нагружения. Следовательно, развитие действующей системы поддержания работоспособности длительно эксплуатируемых газопроводов имеет особое значение для обеспечения их надежной и безопасной эксплуатации, а разработка технологий функционального диагностирования, ремонта и эффективного противодействия интенсивному развитию стресс-коррозионных процессов на трубах является актуальной темой диссертационной работы.

Следует также иметь в виду, что многие объекты трубопроводных систем работают за пределами проектного ресурса, поэтому внедрение экспресс-методов определения текущего состояния металла труб может принести существенную экономическую выгоду, так как позволит избежать проведения дорогостоящих натурных испытаний при подготовке труб к повторному применению.

Вход. № 2417  
«22» 05 2017 г.

Предложенная концепция функционального диагностирования газопроводов и разработанная на ее основе методика планирования ремонтных работ позволят снизить эксплуатационные затраты и повысить промышленную безопасность трубопроводных систем нефтегазовой отрасли.

## **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Зорин А. Е. целью своей диссертации обозначил разработку научно обоснованной методологии функционального диагностирования газопроводов, позволяющей оптимизировать систему поддержания работоспособности длительно эксплуатируемых газопроводов на основе использования высокоэффективных эмпирических методов исследования.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы не вызывает сомнений и подтверждается:

- применением фундаментальных положений теоретической механики, физико-химической механики материалов, механики разрушения, упругопластичности и механохимии металлов, теории надежности и безопасности трубопроводных систем, теории упругости, сопротивления материалов, механики грунтов, а также современных научных достижений и подходов к исследованиям;
- использованием результатов анализа коррозионно-механического разрушения элементов действующих трубопроводов и специальных образцов, а также результатов всестороннего и многофакторного исследования прочностной безопасности металла труб в различных условиях нагружения;
- согласованностью теоретических результатов с экспериментальными исследованиями и непротиворечивостью полученных данных с результатами других авторов;
- планированием эксперимента;
- использованием современных апробированных методов при выполнении теоретических исследований;
- подтверждением на практике закономерностей накопления повреждений при различных условиях нагружения;
- внедрением и использованием на предприятиях отрасли;
- использованием в нормативных и отраслевых документах (при участии автора диссертации разработан ряд нормативно-технических документов, регламентирующих применение усовершенствованной методики

планирования ремонтных работ на линейной части магистральных газопроводов и газопроводах-отводах);

– результатами положительной апробации выводов, полученными автором на научных конференциях различного уровня, посвященных проблемам трубопроводного транспорта;

– публикацией основных выводов и положений исследования в рецензируемых научных изданиях (в том числе из перечня ВАК).

### **3. Достоверность и новизна результатов**

Выводы и результаты, полученные диссертантом, обоснованы и достоверны, так как опираются на результаты анализа и современные методы исследований, высокую степень совпадения результатов, полученных разными методами, существующие методологическую и нормативную базы и подтверждаются большим объемом экспериментальной и технологической информации по повреждениям и оценке состояния металла в различных условиях нагружения, который был получен, систематизирован и проанализирован автором на предмет выявления причин возникновения и механизмов развития критических и докритических деградационных процессов.

В диссертационной работе Зориным А. Е. получен широкий спектр новых научных результатов, поэтому остановимся лишь на некоторых из них, наиболее существенных, по нашему мнению.

Разработаны и научно обоснованы:

– методология функционального диагностирования газопровода, позволяющая оптимизировать систему поддержания работоспособности длительно эксплуатируемых газопроводов;

– оригинальный метод экспресс-диагностики микротрещин и следов старения в металле трубы и устройство его реализующее (патенты РФ № 2498263, № 2545321);

– новые способы испытаний образцов на ударный изгиб и внутреннее давление (патенты РФ № 154290, № 115480);

– методика планирования ремонтных работ на газопроводах, алгоритм выбора оптимальных методов ремонта бывших в эксплуатации труб.

Установлены и обоснованы основные зависимости:

– изменения механических свойств материалов труб при длительной эксплуатации в условиях нестационарного нагружения;

– снижения прочности элементов трубопровода в местах отдельных и взаимодействующих дефектов;

- влияния энергии упругой деформации газопровода на его сопротивляемость разрушению;
- падения трещиностойкости труб по мере повышения запасенной удельной энергии упругой деформации газопровод на различных типах трубных сталей в диапазоне эксплуатационных нагрузок газопроводов;
- изменения трещиностойкости и деформационных характеристик образцов, изготовленных из сталей различной прочности, при воздействии циклических нагрузок;
- кинетики усталостной повреждаемости и разрушения испытательных образцов.

Определены и описаны критерии трещиностойкости и механических свойств разного типа сталей в различных структурно-прочностных состояниях, позволяющие оперативно и с необходимой точностью определять характеристики прочностной безопасности элементов газопроводов в условиях действия коррозионно-активных рабочих сред различной кислотности (щелочной, слабокислой, кислой).

Разработаны критерии и алгоритм выбора оптимальных методов ремонта бывших в эксплуатации труб с применением сварочных технологий.

Выполнено оригинальное развитие математического аппарата, что привело к созданию расчетно-экспериментальной модели обработки данных функционального диагностирования газопроводов и программного обеспечения для расчетов характеристик прочностной безопасности элементов трубопроводных систем по нескольким критериям.

Таким образом, достоверность и новизна результатов диссертации, ее оригинальность не требуют дополнительных доказательств. Автор продемонстрировал состояние современных научных исследований и действующих нормативных и отраслевых документов в рамках темы своей диссертационной работы; внес свой вклад в выбранную тему исследований; показал направление для развития системы поддержания работоспособности газопроводов, находящихся в условиях длительной эксплуатации; предложил конструктивные решения, направленные на усовершенствование технологий обслуживания и ремонта газопроводов, которые позволят повысить их уровень безопасности.

#### **4. Значимость результатов для науки и практики**

Диссертант внес весомый вклад в отраслевую науку и практику обеспечения безопасности длительно эксплуатируемых газопроводов. Полученные в работе результаты позволяют существенно повысить

информативность функционального диагностирования газопроводов и, как следствие, обоснованность принимаемых организационно-технических решений по сопровождению эксплуатации объектов транспорта газа.

*Научную ценность диссертационной работы* определяют следующие результаты исследования, полученные лично соискателем.

Автором изучены закономерности изменения технического состояния элементов газопроводов (из различных типов сталей) при воздействии аномальных рабочих сред в неоднородных условиях эксплуатации, на основании которых установлены основные зависимости изменения деформационных характеристик и трещиностойкости металла труб.

Создана и научно обоснована методология функционального диагностирования газопроводов, находящихся в условиях длительной эксплуатации, с учетом критически важных особенностей труб. Разработаны научно-методические подходы и технические средства, позволяющие при проведении функционального диагностирования получать объективную информацию о текущем состоянии и условиях эксплуатации газопроводов и использовать ее при планировании и выполнении профилактических мероприятий.

Получена и обоснована зависимость сопротивляемости газопроводов разрушению по мере повышения удельной энергии упругой деформации для различных типов трубных сталей в диапазоне эксплуатационных нагрузок газопроводов.

Исследованы процессы усталости и разрушения материалов в условиях совместного воздействия коррозионно-агрессивных рабочих сред и циклических нагрузок. Установлено накопление поврежденности в процессе эксплуатации газопровода. На основе расчетов разработан метод построения диаграмм усталостного разрушения металла трубы в условиях коррозии и охрупчивания металла.

Исследованиями автора установлены критерии выбора оптимальных методов ремонта труб, находившихся в эксплуатации.

*Практическая значимость работы* заключается в следующем.

Предложена методика планирования на газопроводах ремонтных работ, позволяющая учитывать сведения об общей загрузке сооружения, характере нестационарного нагружения, уровне запасенной энергии упругой деформации участка газопровода и текущем состоянии металла труб.

Разработаны экспресс-методы оценки текущего состояния трубных сталей различного класса прочности (СтЗсп5, 17Г1С и Х70) (моделирование процесса нагружения газопровода; измерение микротвердости металла;

обнаружение в металле упрочнения, микротрещин, процессов старения; испытания на ударный изгиб) и переносной диагностический комплекс, защищенные патентами РФ на изобретения и полезные модели.

Предложены организационно-технологические схемы производства ремонтных работ бывших в эксплуатации труб для обеспечения требуемой сопротивляемости разрушению отремонтированных участков. Разработан алгоритм выбора оптимальных методов ремонта труб, учитывающий текущее состояние металла в дефектных зонах.

Разработана расчетно-экспериментальная модель обработки данных функционального диагностирования газопроводов. Реализованные в модели алгоритмы позволяют определить характеристики условий эксплуатации участка газопровода: общая загруженность, характер нестационарного нагружения, уровень запасенной энергии упругой деформации, текущее состояние металла труб.

При непосредственном участии автора разработан и внедрен ряд отраслевых и нормативно-технических документов. Большинство научных разработок автора положены в основу научно-методических материалов по определению и повышению характеристик прочностной безопасности длительно эксплуатируемых газопроводов, в том числе:

– «Временной методики по предремонтному обоснованию участков линейной части магистральных газопроводов и газопроводов-отводов, планируемых к выводу в капитальный ремонт» (документ ПАО «Газпром»);

– «Методических указаний по выполнению неразрушающей оценки состояния металла труб при их подготовке к повторному применению с использованием метода измерения микротвердости» (документ АО «Краснодаргазстрой»);

– «Методических рекомендаций по определению показателей приоритетности вывода участков линейной части магистральных газопроводов в капитальный ремонт, с учетом сведений об условиях их эксплуатации» (документ ОАО «Оргэнергогаз»).

## **5. Оценка содержания диссертации**

Диссертационная работа А. Е. Зорина изложена на 332 страницах, включает введение, шесть глав, заключение, список литературных источников из 208 наименований и приложения.

Текст диссертации построен логично и последовательно. Работа написана грамотно и аргументированно, аккуратно оформлена. По каждой

главе в отдельности и работе в целом сделаны четкие и обоснованные выводы.

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель и основные задачи исследования, основные положения, выносимые на защиту, приведена научная и практическая ценность защищаемых положений.

**В первой главе** приводятся результаты экспериментально-аналитических исследований технического состояния единой системы газоснабжения России и существующих подходов к поддержанию работоспособности газопроводов; рассмотрены основные характеристики газотранспортной системы, условия эксплуатации, факторы, вызывающие повреждения; проанализирована статистика отказов магистральных газопроводов; обоснована необходимость совершенствования функционирующей организационно-технической системы поддержания работоспособности газовых магистралей; предложена новая концепция функционального диагностирования газопроводов, основанная на применении новых методов исследования, предусматривающая использование полученных результатов при планировании и выполнении профилактических мероприятий на газопроводах.

**Во второй главе** проанализированы нагрузки и воздействия на газопровод, а также конструктивные и технологические особенности труб; выявлена и обоснована зависимость характеристик прочностной безопасности газопроводов от рабочих сред и нестационарности нагружения; разработана методика лабораторного моделирования процесса нагружения трубопровода внутренним давлением; установлена эмпирическая зависимость влияния удельной энергии упругой деформации газопровода на его сопротивляемость циклическому разрушению.

**В третьей главе** приведены результаты экспериментальных и аналитических исследований оценки технического состояния металла; разработана специальная конструкция образца для проведения ударных испытаний металла труб на стандартных маятниковых копрах; разработана технология неразрушающей оценки состояния металла труб при их подготовке к повторному применению с использованием метода измерения микротвердости; произведена комплексная оценка дефектов в предложенных ударных образцах, установлены параметры распределения размеров дефектов и поверхностной микротвердости, проведена оценка динамики размеров трещиноподобных дефектов; установлен качественный критерий, позволяющий оценить протекание в металле процесса старения; показано,

что количество измерений контролируемого параметра влияет на достоверность результатов контроля; представлены результаты расчетов.

**В четвертой главе** представлены результаты создания и апробации портативного диагностического комплекса для неразрушающей экспресс-оценки текущего состояния металла труб, включающего блок подготовки поверхности труб и микротвердомер «MicroLab-Z1»; показано, что автоматизированный микротвердомер «MicroLab-Z1» позволяет без вывода из эксплуатации трубопровода получать выборку значений микротвердости объекта исследования и эффективно обнаруживать протекание в металле таких критических и докритических деградационных процессов, как упрочнение, образование микротрещин и старение.

**Пятая глава** посвящена разработке методических подходов к планированию ремонтных работ на газопроводах. Разработана методика формирования программ капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов. Обоснована необходимость учета дополнительных эксплуатационных параметров анализируемых объектов при планировании их ремонта: общей загруженности, уровня нестационарного нагружения, уровня запасенной энергии упругой деформации, состояния металла труб. Создана расчетно-экспериментальная модель и компьютерная программа для обработки и оценки данных функционального диагностирования газопроводов.

**В шестой главе** на основании выполненного комплекса научных исследований установлены критерии и разработан алгоритм выбора оптимальных методов ремонта бывших в эксплуатации труб.

**В заключительной части** представлены основные научные и практические результаты диссертационной работы.

**По работе имеются замечания:**

1. При исследовании фактора нестационарного нагружения оценивалась и моделировалась циклика, вызываемая исключительно режимом транспорта газа. В тоже время известно, что реальная эксплуатация газопровода характеризуется еще и воздействием высокочастотных колебаний и пульсаций, связанных с различными газодинамическими процессами, что автор подтверждает в своей работе. Экспериментальное воспроизведение подобного многочастотного нагружения в настоящее время не представляется возможным, особенно при выполнении натурных испытаний, но существуют различные эмпирические зависимости, позволяющие оценить падение сопротивляемости разрушению конструкций при наложении на основной режим нагружения дополнительных



высокочастотных пульсаций. Поэтому, если бы автор использовал в своей работе указанный подход, это позволило бы ему дать более точную количественную оценку влияния циклических нагрузок в газопроводе на развитие трещин в трубах.

2. С целью изучения влияния режимов циклического нагружения, характерных для газопроводов, автором проводились экспериментальные исследования, в качестве образца использовался фрагмент трубы диаметром 1400 мм и длиной 9886 мм. При этом не вполне понятно, как и на основании каких показателей и их величин определялась длина образца. Также не показано, каким образом моделировались параметры пульсации газа в реальном трубопроводе и как учитывалось влияние торцевых заглушек на параметры пульсации давления внутри образца.

3. Для диагностики технического состояния внешней поверхности газопровода автор использует метод микротвердости. Как учитывалось состояние внутренней поверхности газопровода и оценивалось его техническое состояние в целом? Очевидно, указанный метод необходимо применять в комплексе с другими методами, позволяющими оценить состояние как внешней, так и внутренней поверхностей трубопровода.

4. В диссертационной работе недостаточно внимания уделено обзору и анализу существующих сегодня методов выполнения неразрушающей оценки состояния металла: на базе акустической эмиссии, магнитной памяти, кинетической твердости и пр. На наш взгляд, одним из перспективных направлений для оценки технического состояния трубопроводов является применение методов динамики сооружений и соответствующих комплексов для измерения вибродинамических параметров колебаний участков трубопроводов с определением частоты (периода) собственных колебаний и по их изменению судить о техническом состоянии трубопровода.

Отмеченные замечания не являются критическими и не снижают научной и практической ценности диссертационной работы.

#### **6. Публикации, отражающие основное содержание диссертации**

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в научной печати (автором опубликована 31 научная статья, в том числе в 20 ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, получено пять патентов Российской Федерации), доложены и обсуждены на международных, российских научно-технических и отраслевых конференциях, форумах и семинарах.

Опубликованные работы соответствуют теме диссертационной работы. Количество и научный уровень опубликованных работ являются достаточными для полного раскрытия содержания диссертации.

### **7. Оценка содержания автореферата**

Автореферат отражает основное содержание диссертации и дает представление о методах исследований и полученных результатах.

### **8. Заключение**

Диссертационная работа Зорина Александра Евгеньевича на тему «Научно-методическое обеспечение системы поддержания работоспособности длительно эксплуатируемых газопроводов» является завершённой, самостоятельной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, в которой на основании проведенных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, а также изложены новые научно обоснованные методические, технические и технологические решения в области сопровождения эксплуатации газопроводов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие нефтегазовой отрасли страны.

В работе решена крупная научная проблема обеспечения работоспособного состояния длительно эксплуатируемых трубопроводов, разработана методология их функционального диагностирования, позволяющая оптимизировать существующую систему поддержания работоспособности газопроводов, что соответствует п. 6 «Разработка и усовершенствование методов эксплуатации и технической диагностики оборудования насосных и компрессорных станций, линейной части трубопроводов и методов защиты их от коррозии» и п. 7 «Исследования в области ресурса трубопроводных конструкций, в том числе прогнозируемого при проектировании и остаточного при их эксплуатации» паспорта специальности 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ».

Диссертационная работа Зорина А. Е. «Научно-методическое обеспечение системы поддержания работоспособности длительно эксплуатируемых газопроводов» отвечает требованиям пунктов 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к докторским диссертациям.

На основании изложенного считаю, что автор диссертационной работы Зорин Александр Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ».

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ**  
**ЛАРИОНОВ ВАЛЕРИЙ ИВАНОВИЧ,**

доктор технических наук, профессор, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, первый заместитель генерального директора – директор по научной работе ООО «ЦИЭКС»



19 мая 2017 г.

*Подпись Ларионов Валерий Иванович заберяю.  
Специально от ООО «ЦИЭКС»  
Проф. Валерий И. А.*



**Общество с ограниченной ответственностью «Центр исследований экстремальных ситуаций» (ООО «ЦИЭКС»)**

Адрес: 127015, г. Москва, ул. Вятская, д. 35, стр. 4

Телефон/факс: 8 (495) 221-84-01/02

Сайт: <http://www.esrc.ru>

Эл почта: [esrc@esrc.ru](mailto:esrc@esrc.ru)

ЛАРИОНОВ ВАЛЕРИЙ ИВАНОВИЧ, первый заместитель генерального директора – директор по научной работе, доктор технических наук по специальности 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (нефтегазовый комплекс), профессор, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники  
Телефон: 8 (495) 221-84-01  
Эл почта: [lar@esrc.ru](mailto:lar@esrc.ru)