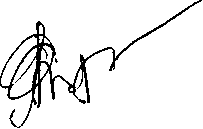
**Климов Павел Викторович. Разработка методов повышения безопасности эксплуатации магистральных газопроводов Республики Казахстан : диссертация... кандидата технических наук : 05.26.03, 25.00.19 Уфа, 2007 190 с. РГБ ОД, 61:07-5/3407**

На правах рукописи



КЛИМОВ ПАВЕЛ ВИКТОРОВИЧ

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

ЭКСПЛУАТАЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Специальности: 05.26.03 - «Пожарная и промышленная безопасность»

(нефтегазовая отрасль) 25.00.19 - «Строительство и эксплуатация

нефтегазопроводов, баз и хранилищ»

Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель доктор технических наук,

доцент Гареев Алексей Габдуллович

УФА-2007

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

1. Аналитический обзор проблемы ККМР 9

1.1. Общие сведения о КРН 9

1.2 Характеристика трубных сталей и их подверженность КРН 10

1.3. Вил изоляционного покрытия и качество его нанесения 11

1. Коррозионная активность грунтов 12
2. Микробиологическое состояние грунтов 13

1.7 Влияние эксплуатационных факторов на коррозионное состояние  
газопроводов 14

1. Давление продукта (газа) 14
2. Температура продукта (газа) 15
3. Методы диагностики коррозии и КРН на газопроводах 15
4. Существующие методы предотвращения КРН 18
5. Анализ нормативных документов на предмет их применимости к газопроводам РК 19
6. Прогнозирование разрушений магистральных газопроводов, вызванных ККМР 24

1.10. Условия пролегания газопроводов РК 26

Выводы по главе 1 28

2. Особенности проявления ККМР РК 29

1. Анализ отказов магистральных газопроводов РК 29
2. Коррозионные и коррозионно-механические разрушения магистральных газопроводов РК 35
3. Определение скорости развития КРН магистральных газопроводов РК ..41 Выводы по главе 2 41

Глава 3 Исследования электрохимических и физико-механических свойств и

микроструктуры металла труб 42

3.1. Определение механических характеристик трубных сталей 42

**з**

1. Макро- и микроструктурные исследования трубных сталей 44
2. Электрохимические исследования 48
3. Моделирование проявлений коррозионных поражений МГ РК 49

Выводы по главе 3 51

4. Компьютерное моделирование коррозионных и коррозионно-механических  
разрушения магистральных газопроводов Республики Казахстан 53

4.1. Основы метода конечных элементов 53

4. 2. Уравнения равновесия 54

1. Матрица жесткости 56
2. Основные задачи и уравнения расчета конструкций 57
3. Описание конечных элементов комплекса ANSYS 58
4. Описание конечных элементов комплекса ANSYS 61
5. Технология формирования элемента 61

4.5.4. Расчетные данные элемента 63

4.6. Результаты компьютерного моделирования 63

Выводы по главе 4 92

5. Разработка рекомендаций по предотвращению коррозионных и стресс-  
коррозионных разрушений магистральных газопроводов РФ 93

Заключение 103

Литература 105

**4**

**ВВЕДЕНИЕ**

Трубопроводные системы транспорта природного газа по условиям их экс­плуатации отнесены к категории опасных промышленных объектов. Их безо­пасное функционирование может быть обеспечено, в первую очередь, изучени­ем причин разрушения трубопроводов, лабораторным исследованием природы взаимодействия металла трубы и приэлектродных электролитов как присутст­вующих в грунтах, так и модифицированных, образующихся при работе систе­мы катодной защиты, а также разработкой на этой основе мероприятий по за­медлению процесса коррозионного и коррозионно-механического разрушения (ККМР) линейной части магистральных газопроводов (МГ).

Опыт эксплуатации таких трубопроводов показывает, что наиболее опас­ными видами разрушения являются общая, язвенная коррозия и коррозионное растрескивание под напряжением (КРН). Причем эти виды ККМР развиваются даже при наличии нормально функционирующей системы катодной защиты. Поэтому используемая в настоящее время защита от ККМР стандартными ме­тодами на ряде участков МГ «Средняя Азия - Центр» (САЦ) не в состоянии предотвратить аварии и инциденты, связанные с разрушением труб. Вопросы, касающиеся защиты МГ от проявлений ККМР, вызванного взаимодействием металла трубы и грунтового электролита, являются актуальными в настоящее время во многих регионах Республики Казахстан (РК), РФ и стран ближнего Зарубежья.

Газотранспортная система САЦ, обеспечивающая газом ближнее и дальнее зарубежье, пролегает от Туркменистана через Узбекистан, Казахстан, Россию и Украину. Так, в 2003 году коррозионное растрескивание под напряжением бы­ло зафиксировано на Украине. Однако после распада СССР отсутствовали ли­тературные данные о проявлении КРН в РК. Поэтому проблема подверженно­сти МГ ККМР включая КРН на газопроводах на территории РК является акту­альной.

В диссертации на основании анализа результатов исследований, проведен-

5

ных в РК, РФ, за рубежом, и работ автора в области защиты магистральных га­зопроводов от КРН исследованы условия возникновения и развития КРН в трассовых условиях РК, природа взаимодействия металла и коррозионной сре­ды, влияние катодной поляризации на остаточный ресурс трубопроводов.

Кроме того, на ряде участков МГ наблюдаются язвы необычной формы (эллипс с плоским дном). В литературе отсутствуют данные о расчете напря­женно-деформированного состояния (НДС) металла для таких дефектов, необ­ходимые, в частности, для определения давления переиспытания участка. По­этому в работе проведено компьютерное моделирование поведения труб, имеющих такие дефекты.

Несмотря на большой объем публикаций по указанной проблеме, некото­рые вопросы все же остаются неизученными. Среди них можно выделить сле­дующие:

* изучение особенностей проявления ККМР на трубопроводах Казахстана;
* более глубокое изучение механизма взаимодействия металла труб и кор­розионной среды в условиях КРН;
* оценка остаточного ресурса трубопроводов, подвергающихся воздейст­вию КРН и язвенной коррозии;
* разработка действенных методов борьбы с КРН и язвенной коррозией.

В связи с вышеизложенным **целью работы** является совершенствование методов и средств повышения безопасной эксплуатации магистральных газо­проводов РК, подверженных КРН и язвенной коррозии.

Реализация поставленной цели в диссертационной работе осуществляется путем постановки и решения следующих основных задач:

1. Изучение особенностей проявления ККМР на трубопроводах в РК.
2. Изучение механизма разрушения магистральных трубопроводов в условиях РК.
3. Оценка опасности эксплуатации МГ с коррозионными язвами и тре­щинами

6

Разработка мероприятий по снижению риска разрушения линейной части МГ РК. Блок-схема решаемых в диссертационной работе задач представлена на

рис. 1.

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ РК

ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И

РАЗВИТИЯ РАЗРУШЕНИЙ

МАГИСТРАЛЬНЫХ

ТРУБОПРОВОДОВ В

ТРАССОВЫХ УСЛОВИЯХ

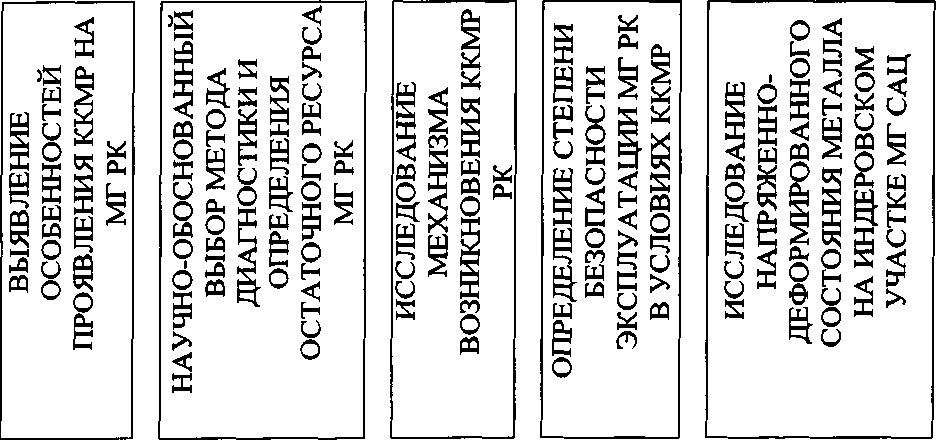
ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА

РАЗРУШЕНИЯ

МАГИСТРАЛЬНЫХ

ТРУБОПРОВОДОВ В

ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ



РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ

БЕЗОПАСНОСТИ

ЭКСПЛУАТАЦИИ

ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМЫ

ТРАНСПОРТА ГАЗА РК

Рис. 1. Блок - схема решаемых в диссертации задач

**7**

**Научная новизна:**

* изучение металла разрушившихся труб показало, что на ряде участков МГ САД, проложенных в сложных грунтовых условиях, коррозионное растрескивание сопровождается интенсивной коррозией. Такое явление не характерно для проявления КРН на МГ России и является специфиче­ской особенностью разрушений газопроводов Казахстана;
* лабораторные исследования показали, что коррозия развивается по меха­низму аномального растворения;
* проведенный комплекс исследований образцов металла отказавших газо­проводов (механические испытания, металлография, электрохимические исследования и др.) показал, что механизм КРН МГ в РК аналогичен на­блюдаемому в РФ;
* обнаружено, что коррозионные язвы на Макатском и Индеровском участ­ках МГ САЦ имеют специфическую геометрию. Для таких язв рассчита­но НДС металла вблизи концентраторов напряжения в виде язв глубиной 1,5 - 9 мм. При этом показано, что безопасная эксплуатация труб с таки­ми дефектами возможна только при их глубине, не превышающей 1,8 мм.

**Практическая значимость и реализация результатов работы**

Разработанные рекомендации по предотвращению и диагностике ККМР внедрены в практику эксплуатации АО «Интергаз Центральная Азия» в виде нормативно - технических мероприятий РК (УМГ «Актюбе» и «Уральск»).

**Апробация работы**

Результаты работы докладывались на следующих конференциях: научно-практической конференции «Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности объектов трубопроводного транспорта углеводородного сырья» (г. Уфа, 2004 г.); Международной учебно-научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт» (г. Уфа, 2005 г., 2006 г.); Международной прак­тической конференции «Эффективные решения по реконструкции действую-

8

щих магистральных газопроводов» (г. Алматы, 2005 г.); VII специализирован­ной выставке-конференции «ПРОМЭКСПО -2006» (г. Уфа, 2006 г.); X Между­народной научно-технической конференции «Проблемы строительного ком­плекса России» (г. Уфа, 2006 г.).

**Публикации**

По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, в числе которых 1 статья в журнале по списку ВАК **РФ.**

**На защиту выносятся** теоретические обобщения известных и полученных автором результатов исследований в области защиты трубопроводов от ККМР.

Автор выражает искреннюю благодарность профессору И.Г. Абдуллину за научное консультирование.

**Заключение**

На основании проведенных исследований могут быть сделаны следующие **основные выводы:**

1. Исследование металла отказавших газопроводов показало, что глу­бина коррозионных трещин сопоставима с глубиной общей коррозии и коррозионных язв. Это позволило научно-обоснованно выбрать ме­тоды диагностики КРН применительно к МГ Казахстана.
2. Лабораторные исследования металла отказавших газопроводов пока­зали, что механизм КРН в РК аналогичен наблюдаемому в РФ, что позволило рекомендовать к применению мероприятия по предотвра­щению КРН, применяемые в РФ.
3. Для коррозионных язв развивающихся на Макатском и Индеровском участках МГ САЦ, разработан метод оценки безопасности эксплуа­тации газопроводов, который показал, что вследствие специфической геометрии язв безопасная эксплуатация газопроводов может быть обеспечена только при глубине язвенного поражения менее 2 мм.
4. Разработанные нормативно-технические документы и рекомендации используются для повышения безопасности эксплуатации МГ РК.

На основании полученных данных разработаны мероприятия, легшие в ос­нову следующих нормативно технических документов РК, реализованных в практику эксплуатации магистральных газопроводов РК.

4. Правила технической эксплуатации магистральных газопроводов ПР РК 51.3-002-2004.

1. Правила безопасности при эксплуатации магистральных газопроводов ПРРК 51.3-003-2004.
2. Правила технической эксплуатации газораспределительных станций магистральных газопроводов ПР РК 51.3-004-2004.

Кроме регулирования режимов транспортировки газа возможно влияние

104

на КРН - грунтов через изменение их физических или химических свойств, электрическое сопротивление. Применительно к участкам с выявленными ло­кальными дефектами КРН -это:

* гидрофобизация грунтов /64/;
* добавление в грунты асфальтитов от процесса Добен, природных ас­фальтитов и т. д.;

-инъектирование грунтов (например, цинковыми растворами) в районе очагов КРН.

Стабильность температуры в районе газопровода будет препятствовать вымыванию грунтов, с изменёнными свойствами.

Эти мероприятия затормозят и будут препятствовать процессам КРН, повышая таким образом надежность эксплуатации газопроводов, подвержен­ных КРН за счет увеличения в два - три раза межремотного цикла.

Превращение КРН возможно на следующих основных направлениях:

1. При новом строительстве, капитальном ремонте с заменой протяжён­  
ных участков сооружать:

- линейную часть из труб, в меньшей степени, склонных к КРН, напр. из  
сталей импортных (Манесман);

* толстостенных труб, напр. труб для 1 категории;
* из труб с заводским изоляционным покрытием.

2. При капитальном ремонте с заменой изоляционного покрытия (пере­  
изоляция):

-использовать изоляционное покрытие «Транскор-газ», «ЛИАМ» для пе­ресечённой местности - покрытие РАМ, «ЛИАМ».

3. Для выборочного ремонта по результатам ВТД - покрытие «ЛИАМ».

Первый из способов кардинально решает проблему надёжности ли­нейной части и КРН, он же самый дорогостоящий, в основном, предпо­лагает применение импортных материалов.

105

Второй способ принят в частности в ОАО «Газпром» в качестве концеп­ции - это позволило повысить надёжность за счёт выявления и ремонта практически всех дефектов и аварии, в т. ч. по причине КРН пошли на убыль.

Третий способ самый экономичный, но предполагает постоянную при­вязку к внутритрубной дефектоскопии (цикл 3-5 лет) и последовательный ремонт «подрастающих» дефектов.

Кроме того, существуют эксплуатационные способы торможения кор­розионных и стресс-коррозионных процессов, напр. поддержание темпе­ратуры газа на постоянном уровне.

**Литература**

1. Абдуллин И.Г., Гареев А.Г., Мостовой А.В., Асадуллин М.З. и др. «Раз­работка неразрушающего метода диагностики и обнаружения очагов стресс-коррозии магистральных газопроводов». / Материалы заседания секции. «Тех­ническое обслуживание и ремонт газопроводов». НТС ОАО «Газпром». Со­стояние и перспективы развития прогрессивных технологий, новых техниче­ских средств и оптимальных методов организаций ремонта линейной части ма­гистральных газопроводов. - Москва, 23 мая 2000 / - М.:ИРЦ Газпром - 2000. -С. 157-159.
2. Абдуллин И.Г., Гареев А.Г. Прогнозирование и диагностика коррозион­ного растрескивания магистральных газопроводов. / Материалы научно-технического совета РАО «Газпром». Основные причины процессов коррози­онного растрескивания под напряжением (КРН), диагностика и методы преду­преждения КРН на магистральных газопроводах. Москва, июль, 1996. - С. 13-20.
3. Абдуллин И.Г., Гареев А.Г., Мостовой А.В. Коррозионно- механическая стойкость нефтегазовых трубопроводных систем. - Уфа: Гилем, 1997. - 176 с.
4. Антонов В.Г., Балдин А.В., Галиуллин З.Т. и др. Исследование условий

106

и причин коррозионного растрескивания труб магистральных газопроводов. -М: ВНИИЭгазпром 1991. - 43 с.

1. Асадуллин М.З., Усманов P.P., Аскаров P.M. и др. Коррозионное рас­трескивание труб магистральных газопроводов. // М: Газовая промышленность. -2000.-№2.-С. 38-39.
2. Асадуллин М.З., Усманов P.P., Аскаров P.M. и др. Обследование и ре­монт магистральных газопроводов ООО «Баштрансгаз», подверженных стресс-коррозии. / Десятая юбилейная международная деловая встреча «Диагностика-2000», Кипр, апрель, 2000. - С. 26-33.
3. Асадуллин М.З., Гаррис Н.А., Сыромятникова Е.В. и др. Анализ и про­гнозирование теплогидравлических режимов участка газопровода Поляна -Москово. - М.: ИРЦ Газпром. НТС Транспорт и подземное хранение газа. 2000. -№ 5.-С. 10-15.
4. Асадуллин М.З., Гаррис Н.А., Новоселов В.В. Влияние тепловых режи­мов на надёжность линейной части газопровода. / Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы прогнозирования, предотвраще­ния и ликвидации последствий чрезвычайной ситуации» - г. Уфа.: НШБЖД. 2000.-С. 31-33.
5. Асадуллин М.З., Усманов P.P., Гольянов А.И. и др. Анализ условий ра­боты переходов газопроводов через малые водотоки / Материалы заседания секции «Техническое обслуживание и ремонт газопроводов» НТС ОАО «Газ­пром» Состояние и перспективы развития прогрессивных технологий, новых технических средств и оптимальных методов организации ремонта линейной части магистральных газопроводов. - Москва, 23 мая 2000 - М.: ИРЦ Газпром, 2000. - С. 60-66.

10. Асадуллин М.З., Усманов Р.Р, Аскаров P.M., Карпов СВ., Королёв  
М.И. Опыт обследования и ремонта участка магистрального газопровода Урен-  
гой-Петровск Полянского ЛПУМГ ООО «Баштрансгаз» / Материалы заседания  
секции «Техническое обслуживание и ремонт газопроводов» НТС ОАО «Газ-

107

пром». Состояние и перспективы развития прогрессивных технологий, новых технических средств и оптимальных методов организации ремонта линейной части магистральных газопроводов. - Москва, 23 мая, 2000. - М.: ИРЦ Газпром. 2000. - С. 66-73.

1. Асадуллин М.З., Гаррис Н.А., Новоселов В.В., Аскаров P.M. Влияние тепловой нестационарности на надёжность линейной части газопровода /Материалы заседания секции «Техническое обслуживание и ремонт газопро­водов «НТС ОАО «Газпром». Состояние и перспективы развития прогрессив­ных технологий, новых технических средств и оптимальных методов организа­ции ремонта линейной части магистральных газопроводов. - Москва, 23 мая 2000. - М.: ИРЦ Газпром. 2000. - С. 168-172.
2. Асадуллин М.З., Абдуллин И.Г., Гареев А.Г., Аскаров P.M., Файзуллин СМ. Особенности возникновения КРН на газопроводах, проложенных на Уфимском плато. / Материалы заседания секции «Техническое обслуживание и ремонт газопроводов» НТС ОАО «Газпром». Состояние и перспективы разви­тия прогрессивных технологий, новых технических средств и оптимальных ме­тодов организации ремонта линейной части магистральных газопроводов. -Москва, 23 мая 2000. - М.: ИРЦ Газпром. 2000. - С. 34-37.
3. Болотов А.С., Розов В.Н., Коатес А.К. Васильев Г.Г., Клепин В.И. Кор­розионное растрескивание на магистральных газопроводах. // Газовая промыш­ленность. - 1994. - № 6. - С. 12-15.
4. Будзуляк Б.В. Вступительное слово «Семинар по коррозионному рас­трескиванию трубопроводов под напряжением. ИРЦ Газпром. - М.: 1998. - С. 3-5.
5. Валеев М.М. , Асадуллин М.З., Аскаров P.M. и др. Мероприятия по обеспечиванию безопасности магистральных газопроводов ООО «Баштранс-газ». / Материалы Второго научно-технического семинара «Обеспечение про­мышленной безопасности производственных объектов топливно-энергетического комплекса Республики Башкортостан. // - Уфа.: Издательство

108

УГНТУ, 1999. - С. 87-93.

1. Волгина Н.И. Разработка метода и выбор критериев устойчивости к стресс- коррозии металла магистральных трубопроводов. Автореферат диссер­тации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - М: 1997. -28 с.
2. Волгина Н.И., Илюхина М.В., Королев М.И. и др. Изучение изменения физико-механических свойств наводороживания и топографии растрескивания стали в процессе переиспытания трубопроводов со стресс- коррозионными де­фектами. / В сборнике докладов Международной научно-практической конфе­ренции по проблеме «Безопасность трубопроводов». - М.: Наука, 17-21 сентяб­ря. 1995.-С. 165-179.
3. ВРД 39-1.10-033-2001. Инструкция по обеспечению безопасности при обследовании газопроводов, подверженных стресс-коррозии. // ООО ВНИИГаз. М,:2001.-12с.

19. ВРД 39-1.10-032-2001. Инструкция по классификации стресс-  
коррозионных дефектов по степени их опасности. // ООО ВНИИГаз. М,: 2001.-  
22 с.

1. ВРД 39-1.10-006-2000\*. Правила технической эксплуатации магист­ральных газопроводов. // ИРЦ "Газпром" М,: -69 с.