



УДК 621.791.03:658.562

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МНОГОКРАТНОЙ ВНУТРИТРУБНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Д. П. ВАРЛАМОВ, канд. техн. наук, В. Н. ДЕДЕШКО, инж. (ЗАО «НПО «Спецмаш», г. Москва, РФ),
В. А. КАНАЙКИН, О. И. СТЕКЛОВ, доктора техн. наук (РГУНиГ, г. Москва, РФ)

Показано, что большое количество аномалий сварных соединений является риском для безопасной эксплуатации системы магистральных газопроводов из-за возможности не только разрушения сварного соединения, но и формирования дополнительного фактора зарождения и развития дефектов коррозионного растрескивания под напряжением в зоне пересечения продольных и кольцевых сварных швов.

Ключевые слова: сварные трубопроводы, целостность, внутритрубная дефектоскопия, общая и местная коррозия, коррозионное растрескивание под напряжением, аномальные кольцевые сварные соединения

Стабильность поставки газа потребителям в Российской Федерации, странах Восточной и Западной Европы и Балканского региона неразрывно связана с надежностью и безопасностью работы единой системы газопроводов ОАО «Газпром». В российской газовой промышленности отмечен поступательный рост добычи объемов газа с прогнозом 670 млрд м³ в 2020 г. Однако созданная еще в Советском Союзе единая газотранспортная система претерпела существенные изменения в связи с распадом СССР. Многониточные коридоры магистральных газопроводов (МГ) теперь проходят по зарубежным странам и контроль их состояния во многом зависит от зарубежных партнеров. Срок эксплуатации в среднем для всей системы МГ бывшего СССР достиг 30 лет и более.

В настоящее время как в Российской Федерации, так и за рубежом отработана технология поддержания целостности МГ и своевременный вывод их в ремонт с целью безаварийной работы и наращивания производительности при проектном давлении газа. Основные этапы технологии поддержания целостности МГ следующие:

регулярное проведение внутритрубной дефектоскопии (ВТД) трубопроводов с периодичностью 3...5 лет;

оценка опасности выявленных дефектов и мониторинг их развития;

своевременное выполнение ремонтно-восстановительных работ по дефектам, представляющим опасность для целостности МГ.

Современное развитие рыночного хозяйства в условиях жесткой конкуренции предъявляет все более серьезные требования к разработке самых современных технологий, их стабильности в процессе производства материалов, изделий, представлению услуг. В этом случае качество и надежность, а также долговечность работы изготавливаемой продукции играют решающую роль в успешной деятельности не только отдельных предприятий, но и целых отраслей хозяйства страны. Поэтому контроль состояния материалов и качества продукции приобретает большую актуальность. Для постоянного совершенствования методик контроля труб магистральных трубопроводов привлекаются самые современные достижения и разработки науки и техники — тепловые, оптические, рентгеновские, различные виды жесткого и мягкого радиационного излучения, ультразвук, вихревые токи, магнитные поля и другие методы физического металловедения [1].

Для магистральных трубопроводов особую опасность могут представлять те трубы, которые уложены с нарушением проектных решений, особенно в горной, пересеченной и заболоченной местностях, а также имеющие относительные остаточные сварочные напряжения в зонах термического влияния сварного шва или догиба кромок листа, так как места локальных напряжений в металле являются едва ли не самой важной причиной возникновения и развития дефектов коррозионного растрескивания под напряжением (КРН). Поскольку точное местоположение дефекта КРН подземного газопровода трудно предсказать даже с помощью многих известных методов физического металловедения, а ультразвуковая ВТД га-



Рис. 1. Очистной поршень

зопроводов является слишком затратной, усилия отрасли направлены на развитие магнитной ВТД.

Магнитные средства дефектоскопии. К весомым достижениям можно отнести создание ЗАО «НПО «Спецнефтегаз» в последние 15 лет магнитных средств дефектоскопии для обследования магистральных нефте- и газопроводов [2]. Создание отечественных снарядов-дефектоскопов позволяет проводить сплошное диагностическое обследование состояния трубопроводов и делать оценку опасности обнаруженных повреждений труб. Комплекс ВТД состоит из нескольких снарядов, каждый из которых выполняет свою функцию, а последовательность запуска позволяет удалять мусор и отложения в трубе, определять профиль труб и возможность прохождения снарядов дефектоскопов по трассе, промагничивать трубопровод и с высокой точностью выявлять характер повреждения и его местоположение. Комплекс снарядов для ВТД представлен на рис. 1–5.

Очистной поршень (рис. 1), предназначенный для очистки внутренней полости трубопровода от мусора и отложений, оборудован калибровочными пластинами для первичного определения проходимости участка трубопровода.

Внутритрубный односекционный поршень магнитный очистной с байпасным устройством



Рис. 2. Внутритрубный односекционный поршень магнитный очистной с байпасным устройством

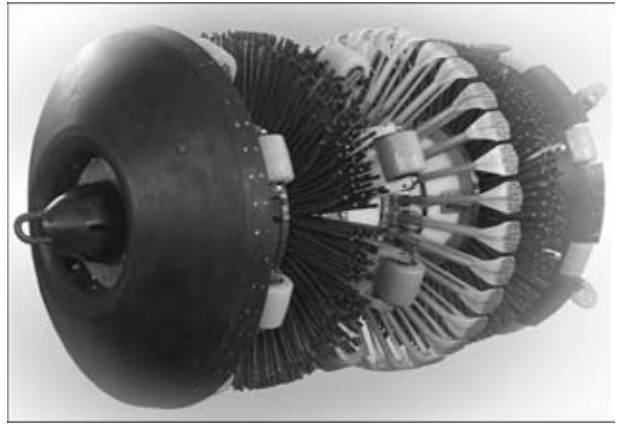


Рис. 3. Электронный многоканальный снаряд профилемер

(рис. 2) предназначен для очистки внутренней полости трубопровода от ферромагнитных отложений и первичного промагничивания. Это первый отечественный промышленный внутритрубный снаряд с устройством управления скоростью (байпасом).

Электронный многоканальный снаряд профилемер (рис. 3) служит для выявления вмятин, гофр и овальности труб, регистрации их размеров и местоположения на трассе газопровода, считывания сварных поперечных швов, первичной регистрации коррозионных дефектов.

Внутритрубный двухсекционный магнитный дефектоскоп продольного намагничивания с байпасным устройством (рис. 4) с коэффициентом регулирования скорости прогона, равным 6, предназначен для выявления дефектов потери металла на внутренней и внешней поверхностях стенки трубы:

- общей и питтинговой коррозии, поперечных канавок, поперечных трещин, аномалии в поперечных сварных швах;

- дефектов механического происхождения — задир, царапин;

- дефектов металлургического характера — внутритрубных расслоений, неметаллических включений.

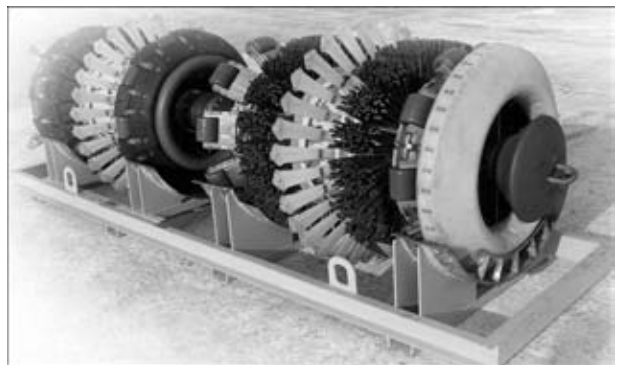


Рис. 4. Внутритрубный двухсекционный магнитный дефектоскоп продольного намагничивания с байпасным устройством



Рис. 5. Внутритрубный двухсекционный магнитный дефектоскоп поперечного намагничивания с байпасным устройством

Внутритрубный двухсекционный магнитный дефектоскоп поперечного намагничивания с байпасным устройством (рис. 5) предназначен для выявления дефектов КРН, продольных трещин; дефектов потери металла (общая и питинговая коррозия, продольные канавки); аномалий в продольных сварных швах; дефектов механического происхождения продольной ориентации (задиры, царапины); дефектов металлургического характера (внутристенные расслоения, неметаллические включения).

Дефектоскоп снабжен активным байпасом с коэффициентом регулирования скорости прогона, равным 6, который обеспечивает ее снижение от 12 (скорость транспортировки продукта в трубе) до 2...3 м/с (оптимальная скорость для проведения магнитной дефектоскопии).

Анализ дефектности сварных соединений, дефектов общей и местной коррозии и дефектов КРН протяженной многониточной системы МГ. В данной работе на базе данных нескольких последовательных ВТД, выполненных ЗАО «НПО Спецнефтегаз», полным комплексом оборудования, проведен анализ дефектности протяженной системы МГ диаметром 1420 мм.

Анализ дефектности включал схему распространения по большей части протяженности региона таких повреждений, как дефекты общей и местной коррозии; дефекты КРН; аномальные кольцевые сварные швы; раскладка труб, уложенных на участках, в зависимости от толщины стенок и типа изготовления труб.

Рассмотрены данные оценки дефектности 28 участков Западной Сибири (проведены две ВТД с интервалом 4...5 лет) на шести параллельных нитках МГ. Следует заметить, что участок представляет собой расстояние от одной компрессорной станции (КС) до другой, при этом средняя длина участка МГ составляет примерно 100 км [3].

Дефекты общей и местной коррозии. На рис. 6 показана зональность распространения дефектов общей коррозии, связанная с явным влиянием рельефа и обводненности. Это прослеживается на

КС 9, КС 10 — всех нитках, между КС 12, КС 13 — на четырех нижних нитках в конце участка и на КС 13, КС 14 в середине участка — на четырех нижних нитках и в конце участка — на 1-й и 2-й нитках.

Суммарное количество дефектов общей коррозии по предприятию высокое, на многих участках после третьей ВТД дефектов стало значительно больше. Нет общей зависимости распространения дефектов общей коррозии по длине участка, максимумы могут быть в начале, середине или конце участка на всех параллельных нитках.

По результатам исследований влияния уровня напряжений и выявления компонента напряжений, определяющего растрескивание и траекторию трещины, установлено, что коррозионные трещины вызываются растягивающими компонентами напряжений независимо от способа нагружения. Для всех металлов время до растрескивания непрерывно уменьшается по мере роста напряжений. Увеличение напряжений, обусловленных внешней нагрузкой, и остаточных напряжений способствует ослаблению и нарушению сплошности защитных пленок, повышению концентрации упругопластических деформаций в микротрещинах и в вершине развивающейся трещины, интенсификации протекания механических, коррозионных и сорбционных процессов, связанных с концентрацией деформации. Интенсификация всех сопряженных процессов при увеличении напряжений приводит в результате к ускорению коррозионного растрескивания.

В Западной Сибири дефектам КРН подвержен практически каждый участок всех ниток газопроводов (рис. 7). Дефектность КРН увеличивается от инспекции к инспекции несмотря на проводимые работы по устранению ранее выявленных дефектов. Новые дефекты КРН обнаруживаются на таких участках, где их раньше не было, и продолжают фиксироваться на тех участках, где дефекты КРН уже были выявлены и удалены. Настораживает факт выявления дефектов КРН при третьей ВТД во вторых половинах участков. Прослеживается явная зональность распространения дефектов КРН по длине участков (на первой половине участков КРН значительно больше). На параллельных нитках газопроводов количество дефектов КРН в одних и тех же зонах существенно разнится, что свидетельствует и о значительном влиянии толщины стенки и типа труб, уложенных на участках.

Аномальные кольцевые сварные соединения. Специфические особенности, определяющие причины, характер, кинетику и механизм коррозионных разрушений сварных соединений, в основном обусловлены термомодеформационным воздействием сварочного процесса, вызывающего неблагоприятные изменения в свойствах металла и его

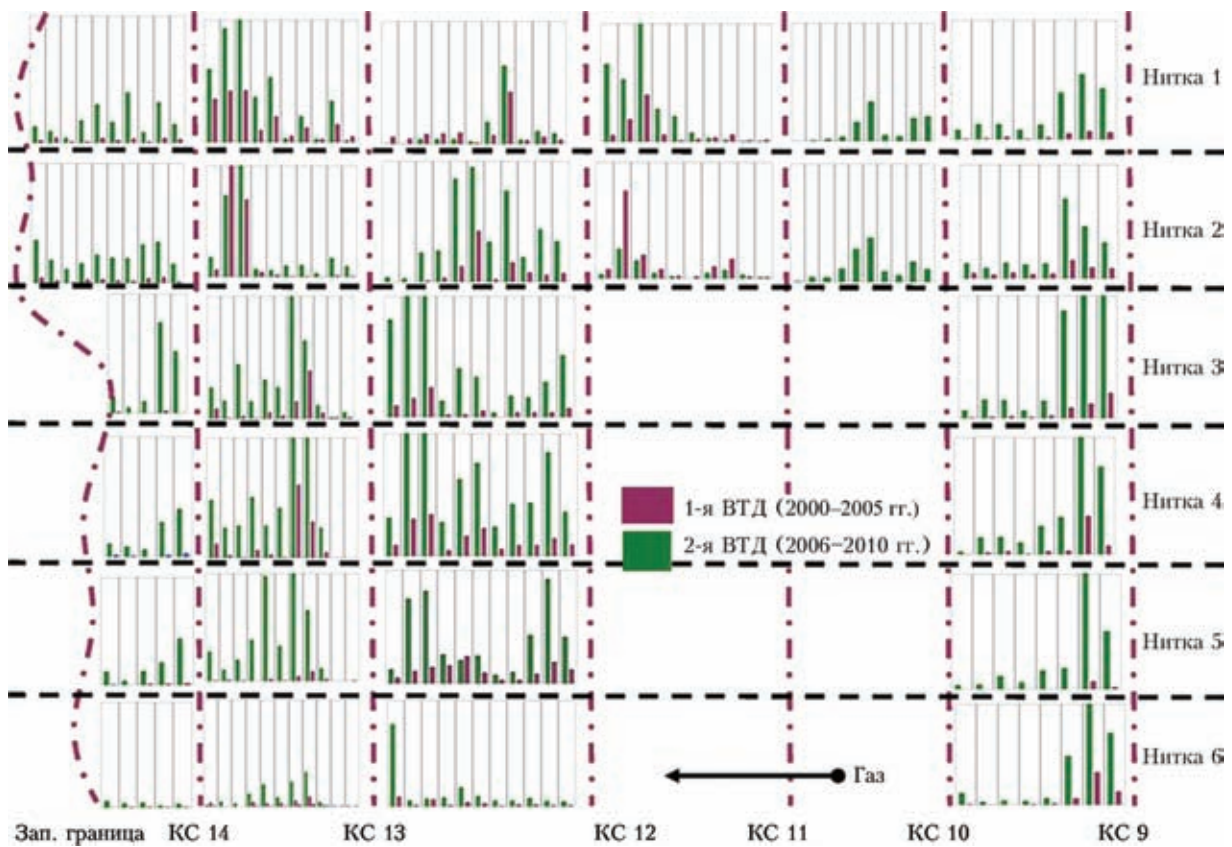


Рис. 6. Дефекты общей и местной коррозии в Западной Сибири; шкала OY на всех диаграммах состоит из 0-800 дефектов; шкала OX — длина участков, разбитых по 10 км

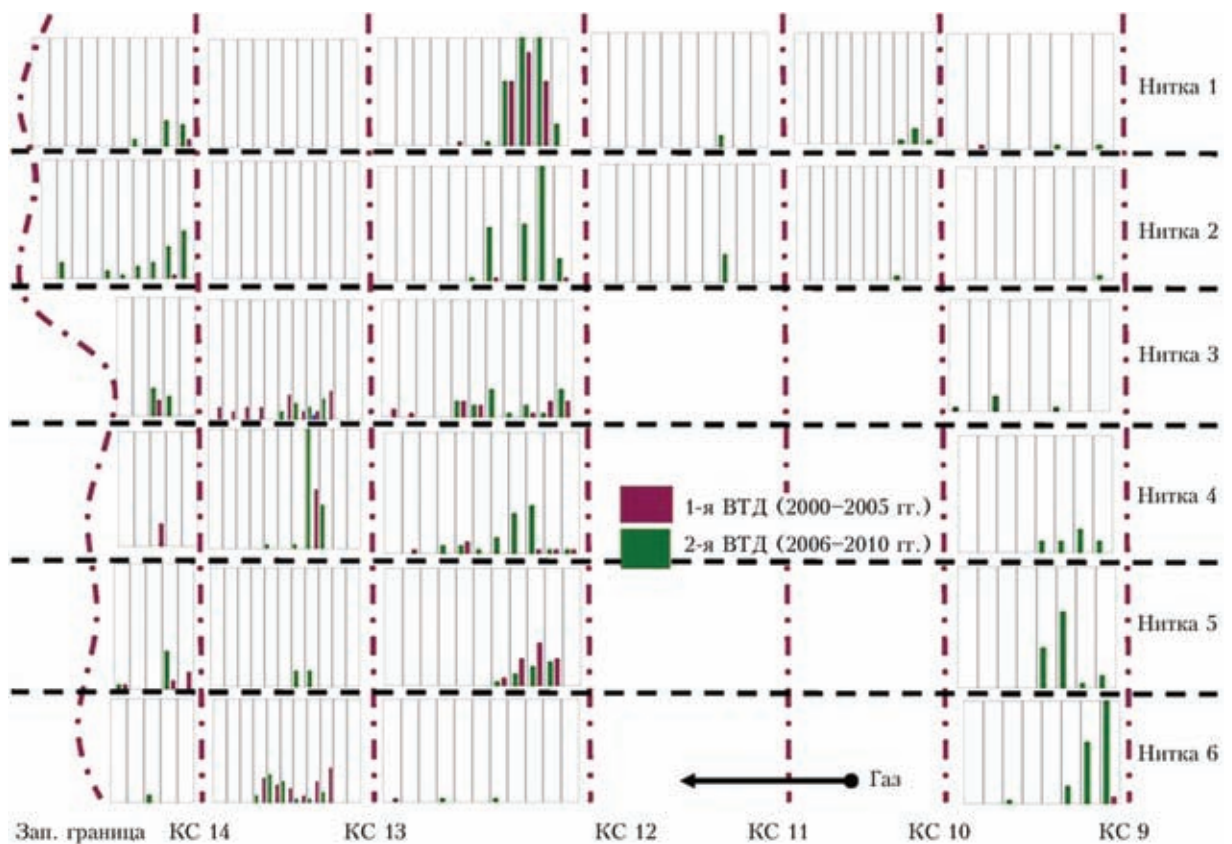


Рис. 7. Дефекты КРН в Западной Сибири; шкала OY на всех диаграммах составляет 0...30 дефектов; шкала OX — длина участков, разбитых по 10 км

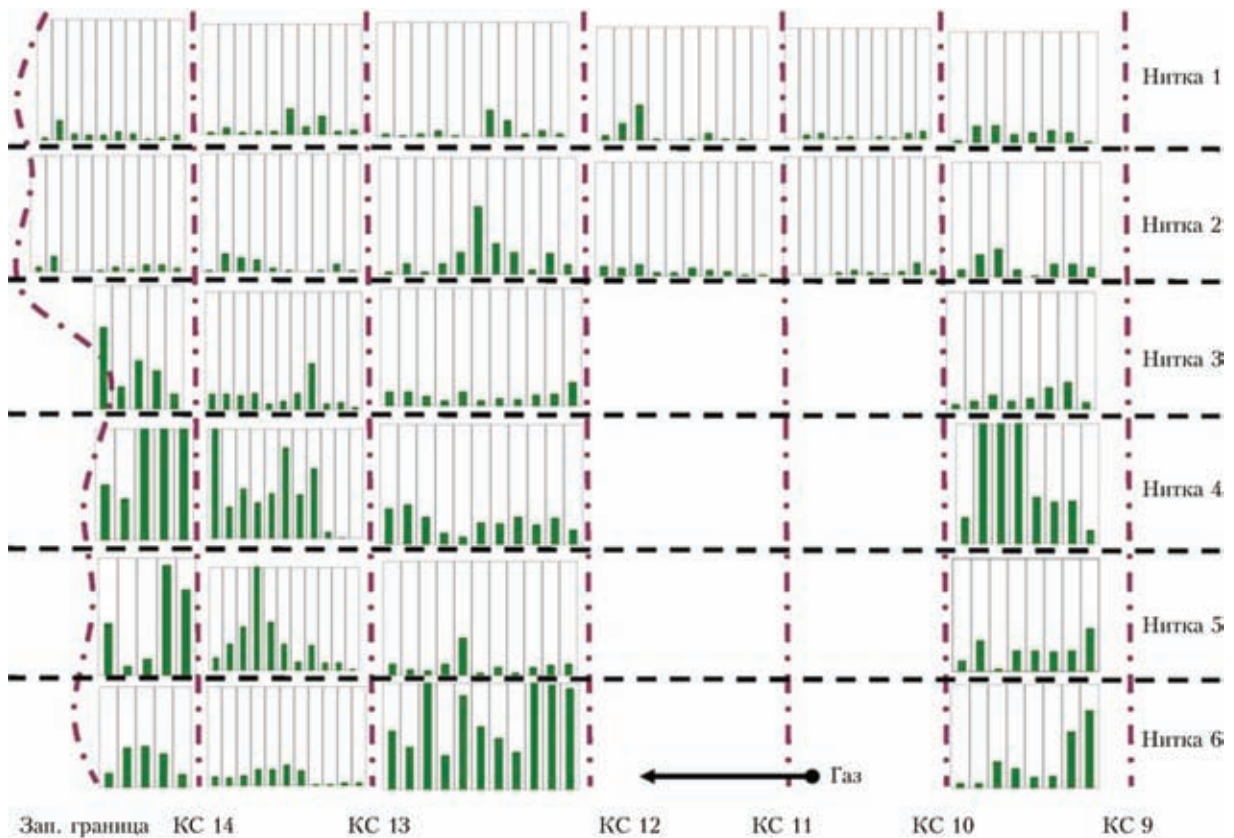


Рис. 9. Аномальные кольцевые сварные швы в Западной Сибири; шкала OY на всех диаграммах составляет 0...100 дефектов; шкала OX — длина участков, разбитых по 10 км

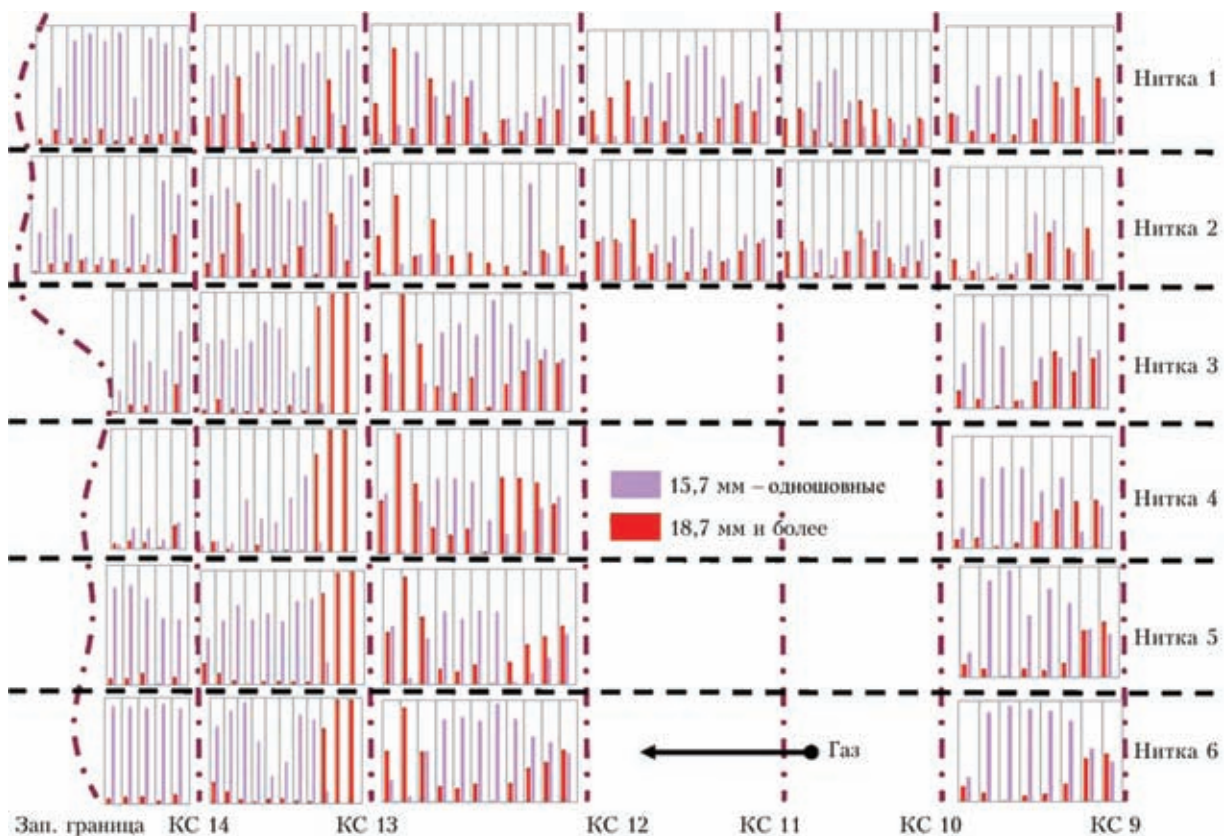


Рис. 10. Распределение труб по участкам в зависимости от толщины стенки и типа изготовления труб в Западной Сибири; шкала OY на всех диаграммах составляет 0...900 труб; шкала OX — длина участков, разбитых по 10 км

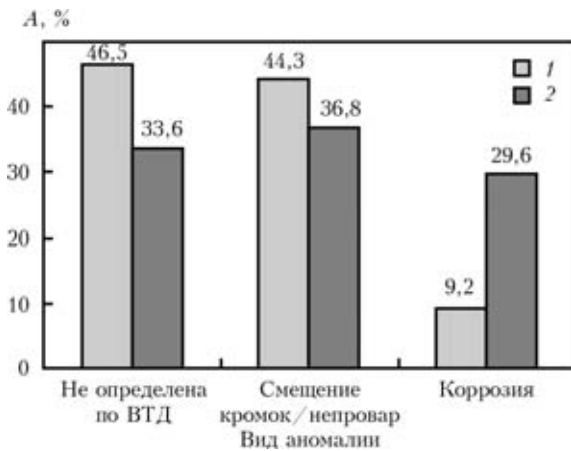


Рис. 8. Виды аномалий стыков *A*, выявленные в третью ВТД в Центральном регионе (1) и в Западной Сибири (2)

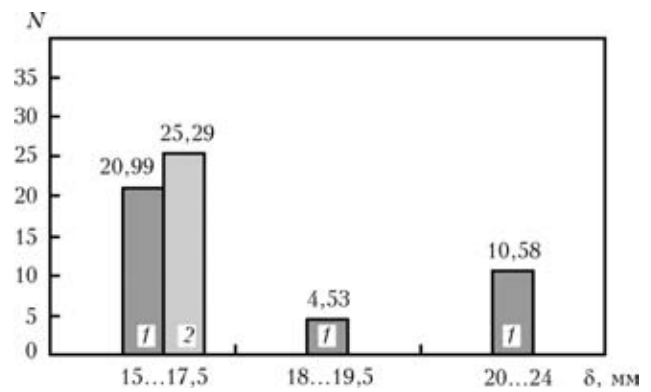


Рис. 11. Удельная дефектность КРН в зависимости от толщины стенки δ и типа изготовления одно- (1) и спиральношовных (2) труб диаметром 1420 мм; *N* — количество труб с дефектами КРН на 100 тыс. труб

напряженном состоянии, усиливающие в свою очередь отрицательное воздействие среды.

Анализ причин и механизмов отказов сварных соединений трубопроводов показывает, что, как правило, разрушение начинается с плоскостных поверхностных дефектов, расположенных преимущественно в корневом слое шва. Во всех случаях для обеспечения надежной и безопасной работы трубопровода необходимо предупредить развитие дефекта до сквозной трещины. Наиболее опасны плоскостные дефекты — трещины, непровары, подрезы. Одним из наиболее распространенных дефектов при сварке стыков труб является непровар корня шва. Часто указанный дефект сочетается со смещением кромок. Полностью исключить появление в монтажных стыках непровара и смещения кромок технологически сложно [4].

На рис. 8 показаны аномалии стыков, обнаруженные по результатам ВТД в Центральном регионе и Западной Сибири. Центральный регион взят для сравнения в качестве региона с лучшими природно-климатическими условиями эксплуатации МГ. Особо следует отметить, что вид аномалии кольцевого сварного шва устанавливается по результатам ВТД и требует более точного определения с помощью средств наружной диагностики. Ограниченную возможность магнитного метода, используемого при ВТД, с достаточной степенью достоверности определения вида аномалии в сварном соединении показывает первая колонка диаграммы на рис. 8.

Серьезную опасность представляют внезапные коррозионно-механические разрушения сварных соединений и конструкций с образованием трещин магистрального типа, вызванных совместным воздействием среды и напряжений при статическом (коррозионное растрескивание), повторно-статическом и циклическом нагружении.

В Центральном регионе и Западной Сибири около половины всех аномальных стыков представляют серьезную опасность для эксплуатации

газопроводов (непровар либо смещение кромок). Наличие такого большого количества смещений кромок и непроваров в Центральном регионе в первую очередь связано с качеством строительства, а не природно-климатическими условиями, что указывает на низкий уровень коррозии на стыках (9,3 % в Центральном регионе и 29,6 % в Западной Сибири).

В Западной Сибири (рис. 9) зафиксировано большое количество аномальных кольцевых сварных швов, что сопряжено со сложными природно-климатическими условиями, оказывающими существенное влияние на качество строительства и условия эксплуатации газопроводов.

Характеристики труб, уложенных в системе МГ. Чувствительность к технологическим и эксплуатационным воздействиям, виды отказов МГ, значимость старения различны для разных поколений свариваемых сталей нефтегазового сортамента — низкоуглеродистых, низколегированных, низколегированных с микролегированием активными карбидообразующими элементами. Влияние коррозионно-активных сред, колебания температуры, рабочих нагрузок и напряжения изменяют с течением времени структуру и свойства эксплуатируемого металла в сравнении с исходными характеристиками.

В Западной Сибири (рис. 10) проявляется фактор зависимости дефектности КРН участка и труб, уложенных на нем (толщина стенки трубы и тип изготовления трубы). Например, участок КС 12, КС 13 на шестой нитке практически не имеет дефектов КРН ни в одну ВТД, тогда как на остальных они присутствуют в значительном количестве. Прослеживается также опосредованная зависимость напряженного состояния вследствие сложного рельефа местности (наличие тонкостенных труб в окружении большого количества толстостенных труб) и дефектности КРН.

По данным статистического анализа, произведенного на 5 млн труб с выявленными на них

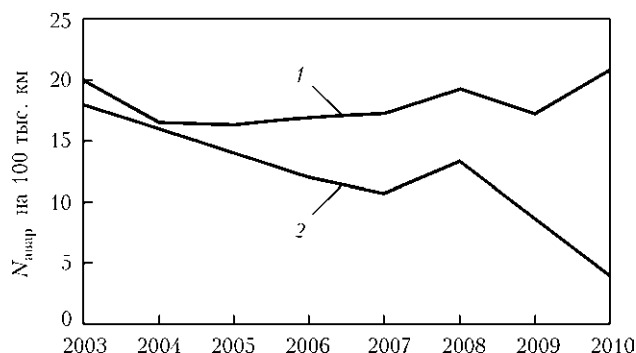


Рис. 12. Влияние наращивания объемов проведения ВТД на снижение аварийности: 1 — объем дефектоскопии, тыс. км; 2 — аварийность, аварий в год на 100 тыс. км

более 6 тыс. дефектами КРН (рис. 11), установлено, что подверженность дефектам КРН тонкостенных (15,0...17,5 мм) труб в 2...3 раза выше, чем труб с толщиной стенки более 18 мм.

Среди тонкостенных труб дефектность КРН двухшовных труб выше, чем у одношовных с такой же толщиной стенки [5]. Поскольку примерно 1/3 всех уложенных труб в протяженной многониточной системе МГ диаметром 1420 мм является тонкостенными двухшовными, единственным эффективным средством предотвращения аварийного разрушения является ВТД.

ВТД 18...20 тыс. км в год газопроводов больших диаметров ОАО «Газпром» позволила значительно повысить их надежность, безопасность, обеспечение бесперебойного транспорта газа потребителям России и за рубежом. Достигнуто это за счет снижения в 5 раз за последние 10 лет аварийности путем выборочного ремонта и способом

переизоляции опасных участков газопроводов по данным ВТД (рис. 12).

Выводы

1. С целью безопасной эксплуатации системы МГ необходимо постоянно осуществлять комплекс мер для своевременного выявления и устранения дефектов линейной части с помощью многократной ВТД, проводить комплексный анализ состояния и прогноз дефектности на ближайшие 3...5 лет.

2. Большое количество аномалий сварных соединений является риском для безопасной эксплуатации системы МГ не только из-за возможности разрушения сварного соединения, но и формирования дополнительного фактора зарождения и развития дефектов КРН в зоне пересечения продольных и кольцевых сварных швов.

3. Наиболее эффективным средством предотвращения аварийного разрушения труб протяженной многониточной системы МГ является ВТД.

1. Мазур И. И., Иванцов О. М. Безопасность трубопроводных систем. — М.: ИЦ «Елина», 2004. — 1104 с.
2. Стеклов О. И. Стойкость материалов и конструкций к коррозии под напряжением. — М.: Машиностроение, 1990. — 384 с.
3. Канайкин В. А. Внутритрубная магнитная дефектоскопия магистральных трубопроводов. — Екатеринбург: УрО РАН, 2009. — 308 с.
4. Варламов Д. П., Канайкин В. А., Матвиенко А. Ф. Мониторинг дефектности магистральных газопроводов. — Екатеринбург: УрО РАН, 2008. — 120 с.
5. Анализ стресс-коррозионной дефектности магистральных газопроводов / Д. П. Варламов, В. А. Канайкин, А. Ф. Матвиенко и др. — Екатеринбург, 2010. — 190 с.

It is shown that a large number of anomalies of welded joints creates a hazard for safe operation of the system of main gas pipelines, because of the possibility of not only welded joint failure, but also appearance of an additional factor of initiation and development of stress corrosion cracking defects in the zone of crossing of longitudinal and circumferential welds.

Поступила в редакцию 31.10.2011