

С.Г. Абрамян, С.Н. Савеня, А.А. Савеня

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СИСТЕМ
ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА
НА ВСЕХ ЭТАПАХ СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Учебное пособие



Волгоград 2011

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

С.Г. Абрамян, С.Н. Савеня, А.А. Савеня

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СИСТЕМ
ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА
НА ВСЕХ ЭТАПАХ СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Учебное пособие

Волгоград 2011

УДК 69.05:621.643.053(075.8)

ББК 38.6я73

А 164

Рецензенты:

доктор технических наук Ю.Ф. Полковников, профессор Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета;
кандидат технических наук *А.Н. Макаренко*, преподаватель Волгоградского колледжа газа и нефти ОАО «ГАЗПРОМ»

*Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Абрамян, С.Г.

А 164 Контроль качества систем трубопроводного транспорта на всех этапах строительства и эксплуатации [Электронный ресурс] : учебное пособие. Электрон. текстовые и граф. данные (63,5 МБ) / С.Г. Абрамян, С.Н. Савеня, А.А. Савеня ; М-во образования и науки Росс. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. Волгоград : ВолгГАСУ, 2011.

Учебное электронное издание комбинированного распространения:

1 CD-диск. Системные требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; 2-скоростной дисконд CD-ROM; Adobe Reader 6.0.

ISBN 978-5-98276-440-9

№ гос. регистрации

Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/>

Рассмотрены основные методы диагностики и контроля качества строительномонтажных работ при трубопроводном строительстве. Особое внимание уделено таким технологическим процессам, как подготовительные, земляные, сварочные, изоляционноукладочные работы. Подчеркивается ведущая роль диагностики и контроля качества на стадии проектирования, приемки объекта в эксплуатацию. Приводятся мероприятия по предупреждению отказов и повышению уровня надежности трубопроводных сетей.

Для слушателей магистратуры по направлению «Строительство», студентов специальностей «Теплогоснабжение и вентиляция», «Водоснабжение и водоотведение», «Промышленное и гражданское строительство», может оказать помощь инженерно-техническим работникам, занимающимся строительством и эксплуатацией трубопроводных систем.

УДК 69.05:621.643.053(075.8)

ББК 38.6я73

Незаконное использование данного продукта запрещено.

ISBN 978-5-98276-440-9



© Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», 2011

Оглавление

Введение	4
Контрольные вопросы	7
1. Обеспечение надежности и организация диагностики линейной части магистрального трубопровода	8
1.1. Основные подходы к обеспечению надежности трубопровода на различных стадиях	8
1.2. Методы диагностики состояния труб	9
Контрольные вопросы	15
2. Инженерные изыскания на стадии проектирования трубопровода	16
2.1. Определение состава грунтов и их свойств	17
2.2. Индукционные методы поиска подземных коммуникаций	19
Контрольные вопросы	20
3. Контроль качества подготовительных и земляных работ	21
Контрольные вопросы	23
4. Контроль качества строительно-монтажных работ	24
4.1. Входной контроль труб и соединительных деталей	24
4.2. Контроль сварных соединений трубопроводов	33
4.3. Контроль изоляционных покрытий	50
4.4. Контроль напряженно-деформированного состояния металла трубопровода	54
4.5. Оценка состояния трубопровода	61
Контрольные вопросы	64
5. Испытание и приемка в эксплуатацию законченного строительством трубопровода	66
5.1. Гидравлическое испытание газопровода	66
5.2. Способы обнаружения утечек при различных испытаниях трубопровода	67
5.3. Контроль состояния металла	71
5.4. Порядок приемки в эксплуатацию трубопровода	73
Контрольные вопросы	75
6. Послемонтажный контроль трубопроводов	76
Контрольные вопросы	95
7. Мероприятия по предупреждению отказов и повышению уровня надежности трубопроводов	96
Контрольные вопросы	99
Заключение	100
Библиографический список	101
Список рекомендуемой литературы	104

ВВЕДЕНИЕ

Первые упоминания о трубопроводах для транспортировки углеводородного сырья относятся к началу нашей эры, когда для передачи природного газа в Китае применяли бамбуковые трубы. В Европе в конце XVIII в. начали применяться трубопроводы из чугунных труб, замененные в XIX—XX вв. стальными. Они обеспечивали транспортировку газа под более высоким давлением, чем чугунные трубопроводы. К началу XX в. наибольшего размаха добыча природного газа достигла в США (20 млрд м³), где общая протяженность трубопроводов составила 22 тыс. км (1918). Первый магистральный трубопровод дальнего газоснабжения был сооружен в США в 1944 г. — газопровод «Теннеси». Диаметр этого газопровода составлял около 600 мм, а длина — 3300 км.

Развитие трубопроводного транспорта в нашей стране до 1941 г. ограничивалось сооружением трубопроводов для транспортировки нефти и газа из труб малых диаметров (100...250 мм). Современные транспортные трубопроводные системы Российской Федерации сложились, в основном, в период с 1960 по 1980 гг., когда развивалась газодобыча за счет освоения месторождений Западной Сибири.

Основной отличительной чертой строительства магистральных трубопроводов в СССР являлось создание единой схемы кольцевания и байпасирования, что повышало их эффективность, обеспечивало бесперебойность и надежность транспортировки, а также больший удельный вес трубопроводов больших диаметров. Максимальный диаметр труб, применяемых в США, — 1067 мм, в СССР — до 1420 мм.

Современный трубопроводный транспорт характеризуется следующими факторами:

- ростом в общем объеме доли трубопроводов большого диаметра (до 1420 мм), рассчитанных на высокие рабочие давления (до 12 МПа);

- удлинением отдельных магистралей до 4 тыс. км для подачи углеводородов с удаленных месторождений;

- перемещением основных объектов строительства трубопроводов в труднодоступные районы (например, Крайнего Севера), отличающиеся сложными и неблагоприятными природно-климатическими условиями;

- большой протяженностью трубопроводов, причем большая их часть проложена в труднодоступных местах (районы Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока, морское дно);

- высоким уровнем физического старения (износ более 60 %, по прогнозам на 2020 г. более 117 тыс. магистральных газопроводов исчерпают заложенный при проектировании ресурс эксплуатации);

- способностью функционировать в неблагоприятных природно-климатических и технических условиях [1].

В настоящее время общая протяженность магистральных трубопроводов в России составляет примерно 200 тыс. км в одностороннем исчислении, промысловых трубопроводов — 350 тыс. км. Для их функционирования используется около 800 компрессорных и нефтегазоперекачивающих станций.

Магистральные трубопроводы являются основным связующим звеном районов добычи углеводородов с районами его переработки и потребления и относятся к категории наиболее ответственных инженерных сооружений. Объем транспорта постоянно возрастает, например, транспорт газа в 2010 г. составил свыше 500 млрд м³ при средней дальности транспортировки газа по Единой системе газоснабжения (ЕСГ) около 2600 км при поставках газа для внутреннего потребления и 3600 км при поставках на экспорт.

Трубопроводная система характеризуется относительной труднодоступностью для прямого обслуживания, обследования и ремонта. Большинство магистральных трубопроводов, отводов и арматуры на них располагается под землей. Дело осложняется тем, что трубопроводы на своем протяжении пересекают многочисленные полноводные реки и болота, зоны землепользования и труднодоступные районы. Даже в тех случаях, когда доступ извне возможен, не всегда можно визуально определить место повреждения.

Хроники аварий, ежемесячно публикуемые в издаваемых Ростехнадзором научно-производственных журналах, свидетельствуют о том, что в настоящее время среди всех зарегистрированных серьезных промышленных инцидентов разрывы труб в трубопроводных системах высокого давления, сопровождаемых возгоранием транспортируемого продукта, составляют абсолютное большинство.

Таким образом, не снижающееся количество аварий, а также реальная угроза возникновения в промышленных зонах мира и, прежде всего, в России, техногенных катастроф (крупномасштабных каскадных аварий с тяжелыми последствиями), инициированных разрушением магистральных трубопроводов высокого давления, транспортирующих опасные жидкости и газы, наглядно свидетельствуют, что обеспечение безопасности эксплуатации трубопроводных систем остается одной из наиболее актуальных задач трубопроводного транспорта.

Это обусловлено тем, что значительная часть трубопроводов физически устарела — их срок службы от 15 до 35 лет. В такой ситуации вероятность разрывов трубопроводов от действия волновых и вибрационных процессов многократно возрастает. Об этом свидетельствует ежегодный прирост аварийности, который по различным оценкам равен от 5 до 9 % .

Любой случай разрыва трубопровода сопровождается выбросами продукта, экологическим ущербом, значительными материальными потерями. Аварии могут сопровождаться пожарами и взрывами и приобрести характер техногенной катастрофы с вовлечением близкорасположенных промышленных объектов, поселений. При этом сумма экономического ущерба возрастает в сотни и тысячи раз, не исключается вероятность гибели людей. С другой стороны, политика государства, озабоченного проблемами промышленной безопасности и охраны окружающей среды, постоянно ужесточается, что может привести к отзыву лицензий и прекращению хозяйственной деятельности предприятий, которые не в состоянии обеспечить и подтвердить приемлемый уровень технологического риска эксплуатации принадлежащих им трубопроводных систем.

Анализ отказов ЕСГ за последние три года выявил следующие причины разрывов трубопроводов: наружная коррозия — 41,2 %, в т.ч. КРН (стресс-коррозия) — 39,8 %; брак строительно-монтажных работ — 17,6 %, в т.ч. брак сварки — 9,8 %; механические повреждения — 8,8 %; дефект труб, заводского оборудования и соединительных деталей — 14,7 %; стихийные бедствия — 4,9 %; нарушение правил техники эксплуатации и техники безопасности магистральных трубопроводов — 1,0 %; внутренняя коррозия и эрозия — 2,9 %; прочие причины — 9,8 %.

Как показывает статистика, основной причиной отказов систем трубопроводного транспорта в России по-прежнему является наружная коррозия металла труб, в т.ч. коррозионное растрескивание под напряжением (КРН), развивающееся на внешней, катодно-защищенной поверхности подземных газопроводов. С аналогичными проблемами также сталкивается большинство зарубежных компаний, эксплуатирующих магистральные трубопроводы [2, 3]. Высокий процент коррозионных и стресс-коррозионных отказов на российских трубопроводах обуславливается, по видимому, низким качеством изоляционных покрытий, несовершенством систем электрохимической защиты, а также недоучетом на стадии проектирования факторов взаимодействия трубопровода с агрессивными почвогрунтами.

На высокую частоту отказов оказывает влияние и низкая стойкость трубных сталей. По результатам статистических данных за 1999—2009 гг. по заводам (странам)-поставщикам и маркам стали труб (вне зависимости от градации по диаметрам) коррозионные и стресс-коррозионные отказы распределились следующим образом:

по трубам Челябинского трубопрокатного завода (из стали 17Г1С, 17Г1С-У, 14Г2САФ) — 44 % от общего числа отказов;

Харцызского завода (из стали 17Г1С, X-70) — 33 %;

Волжского завода (из стали 17Г1С) — 16 %;

импортной поставки (из стали X-57, X-60 производство Италии, Швеции, Японии) — 17 %.

Отсутствие эффективного контроля со стороны заказчика и подрядчика за качеством изготавливаемых и поставляемых труб, деталей и оборудования не позволяет своевременно выявлять скрытые заводские дефекты, что приводит к авариям в процессе эксплуатации газопроводов.

Второй по значимости причиной отказов за последние три года был брак строительно-монтажных работ — 17,6 % общего числа отказов, в т.ч. 9,8 % отказов из-за брака сварки.

Отказы из-за брака СМР являются следствием серьезных недостатков в процессе осуществления производственного контроля при строительстве газопроводов со стороны исполнителей работ, основные из которых: недостаточный уровень входного контроля; низкий уровень самоконтроля исполнителей при производстве работ; неудовлетворительный операционный контроль со стороны производителей работ; низкий уровень приборного контроля при производстве монтажных работ.

Повышение надежности и безопасности такого сложного образования, как система магистрального трубопроводного транспорта России, возможно только при условии разработки системы независимой экспертизы проектно-конструкторской документации и поэтапного контроля на стадии строительства и реконструкции трубопроводов, совершенствования технологии приемосдаточных испытаний.

Для повышения надежности трубопроводных систем необходимо создание широкой сети специализированных лабораторий и центров (в т. ч. центров независимой экспертизы), на которые следует возложить следующие функции: организации входного контроля труб большого диаметра, труб нефтяного сортамента, соединительных деталей отечественного и зарубежного производства; анализа технологии производства и контроля за качеством на заводах-изготовителях в отношении их влияния на качество труб, соединительных деталей и разработки предложений по их совершенствованию, участию в расследовании аварий труб, соединительных деталей на газопроводах и др.

Эксплуатационным и строительным подрядным организациям необходимо, в первую очередь, уделить внимание повышению технологической дисциплины персонала: соблюдению ими правил технической и безопасной эксплуатации объектов, технологии строительства и эксплуатации.

На сегодняшний день требуется объединение усилий ученых и специалистов нефтегазовых компаний, органов технологического надзора, отраслевых и академических институтов и других организаций с целью повышения надежности трубопроводного транспорта [4, 5, 6, 7].

Обеспечению надежности и диагностики трубопроводных систем посвящены многие исследования [2, 5, 8, 9, 10, 11 и др.], однако во всех разработках надежность достигается путем решения организационно-технологических задач в процессе выполнения строительного-монтажных работ или увеличения конструктивных характеристик в процессе проектирования [9]. Вопросы контроля качества и диагностирования поднимаются исследователями очень редко или обходятся стороной.

Контрольные вопросы

1. Какими факторами характеризуется современное состояние системы трубопроводного транспорта в России?
2. Охарактеризуйте факторы развития трубопроводного транспорта в России и мире.
3. Какие направления необходимо реализовать в области повышения качества строительства и снижения частоты отказов?
4. Какие особенности присущи системе трубопроводного транспорта в России по сравнению с США?
5. Почему вопросы надежности трубопроводного транспорта приобрели такую актуальность?
6. Какие недостатки производственного контроля на стадии строительства определяют высокий процент отказов?
7. В чем причина аномально высокой частоты коррозионных и стресс-коррозионных отказов российских трубопроводов?
8. Трубы каких поставщиков имеют наиболее высокий удельный вес отказов?

1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ОРГАНИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИКИ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА

В рамках межгосударственной научно-технической программы «Высоконадёжный трубопроводный транспорт» ведется работа над созданием комплексной системы диагностики, которая осуществляется формированием четко организованной системы технического надзора за трубопроводами от проектирования до утилизации.

Обеспечение надежности функционирования трубопроводных систем — сложная комплексная задача. Ее решение зависит от качества используемых материалов, уровня проектно-изыскательских и строительных работ, совершенства системы технической эксплуатации [12].

Общий комплекс работ по определению исходного и остаточного ресурса, живучести и безопасности трубопроводов повышенного риска включает мониторинг стадий проектирования, изготовления, испытания и эксплуатации.

1.1. Основные подходы к обеспечению надежности трубопровода на различных стадиях

На стадии проектирования назначается и обосновывается исходный ресурс безопасной эксплуатации и назначаются критерии безопасности. Расчетно-экспериментальные оценки ресурса, живучести и безопасности проводятся по данным эксплуатационных нагрузок P , температуры T , чисел циклов N , времени t , частотам f , характеристик сопротивления материалов R , деформаций e , размеров дефектов I , с установлением допускаемых величин N , P , I .

На стадии изготовления (строительства) производится контроль на соответствие исходной проектной документации; выбираются и обосновываются технологии и материалы; проводится дефектоскопический контроль; устанавливается исходное состояние несущих элементов. Вся информация закладывается в ЭВМ (условное и истинное сопротивление разрушению R_m и R_f , удлинение и сужение Z и A , реальные деформации e , дефекты I и ожидаемая скорость их роста dl/dN).

На стадии испытаний проверяют работоспособность спроектированных и построенных систем, проводится уточнение ресурса. По выбранным и обоснованным критериям назначаются режимы эксплуатации, ресурс и методы диагностики и контроля. Базовой уточненной информацией оказываются P , T , N , f , t .

На стадии эксплуатации, включающей предпусковые испытания, физический пуск и выход на штатную эксплуатацию, подтверждаются принятые проектные решения и назначаются дополнительные методы оценки накопленных повреждений и остаточного ресурса. При этом используется единая система критериев. С использованием ЭВМ, на основе текущей диагностической информации ведется контроль безопасности по упомянутым ранее величинам. Дополнительно устанавливаются расчетными алгоритмизованными и расчетно-экспериментальными методами [12] поля физических и химических

воздействий (например, электромагнитных, коррозионных), проводятся исследования нагрузок, напряжений, деформаций.

В последнее десятилетие формируются новые принципы концепций обеспечения безопасности трубопроводов, из которых приоритетными, несомненно, являются мероприятия, предупреждающие тяжелые аварии и катастрофы, а также мероприятия, уменьшающие негативные последствия отказов. Основное требование концепции безопасности — снижение рисков тяжелых катастроф внедрением системы проектного и строительного мониторинга.

Составляющими этой концепции являются:

принципы организации безопасного функционирования трубопроводов; недопущения наихудшего случая;

обеспечения качества исходных компонентов;

непрерывного эксплуатационного контроля фиксирования его результатов; оперативного анализа наиболее опасных предельных состояний.

Вышеизложенные принципы являются и направлениями перспективных научных исследований, потому что каждый из них определяет круг задач, решение которых необходимо при разработке новых и совершенствовании уже существующих трубопроводных систем.

1.2. Методы диагностики состояния труб

При диагностическом обследовании должны использоваться соответствующие этапу методы измерений, которые обеспечат получение необходимых данных. Следует иметь в виду, что каждый из существующих методов диагностики позволяет выявить лишь частные параметры тех или иных дефектов объекта, а не дифференцированно оценить техническое состояние объекта.

Наибольшее распространение получили методы диагностики, базирующиеся на непосредственном выявлении и оценке повреждений, либо на основе регистрации изменений физических параметров среды непосредственно связанных с изменениями технического состояния. Такие методы можно условно разделить на следующие основные группы: внутритрубные, контактные (определяющие дефекты на расстоянии не более 10 см от трубы), дистанционные (диагностирующие наличие дефектов с применением методик контроля без непосредственного контакта с трубопроводом), автоматизированные (осуществляемые с помощью автоматизированных систем) [13, 14].

Внутритрубная диагностика (внутритрубная инспекция) представляет собой комплекс технологических операций, реализуемых путем пропускания внутри трубопровода специальных устройств (внутритрубных снарядов). Она позволяет проводить обследование линейной части трубопроводов на всем ее протяжении как в процессе эксплуатации, так и для решения задач послемонтажного контроля, выявлять различного типа несовершенства и строительные дефекты в стенках труб, являющиеся потенциальными причинами аварий и отказов, а также уточнить пространственное положение трубопровода без остановки транспорта. Современная концепция диагностирования базируется на

применении «интеллектуальных» внутритрубных снарядов высокого разрешения 2-го или 3-го поколений.

В последнее время разработаны технологии внутритрубного контроля труднодоступных участков (например, пересечений, тройников и т.п.) с помощью приборных комплексов, размещенных на самоходных роботизированных тележках — кроулерах, также выполняется визуальное обследование внутренней части трубопроводов и арматуры с помощью оптико-волоконных средств [15].

Диагностика металла труб, сварных соединений и изоляционного покрытия на стадиях входного строительного контроля в процессе строительства и в шурфах относится к **контактным методам**.

Дистанционный метод основан на диагностике с применением приборов неразрушающего контроля. Данный метод основан на получении информации в виде электрических, световых, звуковых и других сигналов о качестве проверяемых объектов при взаимодействии их с физическими полями (электрическим, магнитным, акустическим и др.) и (или) веществами без нарушения размеров, формы и структуры материала. Важными критериями при этом являются физические, геометрические и функциональные показатели, а также технологические признаки качества, например, отсутствие недопустимых дефектов типа нарушения сплошности материала, соответствие физико-механических свойств и структуры основного материала и покрытия, геометрических размеров и чистоты обработки поверхности требуемым технической документацией и др.

Если с помощью снарядов-дефектоскопов можно добиться высокой производительности обследования газопроводов при невысокой достоверности оценки параметров дефектов, то при обследованиях методами локальной диагностики достигается более высокий уровень выявляемости и идентификации дефектов, а также выполняется классификация дефектов по степени их опасности.

На особо ответственных участках трубопроводов, требующих постоянного контроля, в процессе строительства должны монтироваться автоматизированные системы телеметрического комплекса для получения информации о действительных условиях эксплуатации трубопровода и его взаимодействии с окружающей средой. К ним можно отнести системы акустической эмиссии (АЭ), «интеллектуальные» вставки на основе тензорезисторов, датчики систем коррозионного мониторинга «Пульсар» и др. Автоматизированными системами телеметрического комплекса получения информации могут быть оборудованы участки примыкания к «высокой» стороне компрессорных и насосных станций, сложные дюкерные и надземные переходы, подземные участки газопроводов, расположенные на льдистых вечномерзлых грунтах, и другие ответственные участки трубопроводных систем [16].

Электрометрические измерения по окончании строительства обеспечивают контроль потенциала катодной защиты трубопроводных систем, оценку состояния защищенности от коррозии, качества изоляции. Методы электрометрии

также эффективны для оценки коррозионной агрессивности грунтов в месте прокладки, что позволяет выбрать оптимальные технологии защиты [17].

Недавно предложенный метод **бесконтактной магнитометрии** основан на исследовании распределения магнитного поля трубы. Он позволяет по аномалиям в напряженности магнитного поля локализовать возможные очаги коррозионных и механических повреждений без открытия шурфов. Метод, осуществляя ранний контроль состояния трубопроводов различного назначения, позволяет находить «аномальные» участки на стадии зарождения структурных изменений в металле, чем существенно отличается от традиционных методов неразрушающей диагностики, и служит дополнением к электрометрическим обследованиям, повышая точность в оценке и выявлении дефектов [18].

Температурное поле в грунтах в полосе трассы газопроводов под влиянием строительства и эксплуатации существенно изменяется. В зависимости от первоначальных мерзлотных условий эти изменения могут привести и к увеличению глубины сезонного оттаивания, и к многолетнему их протаиванию, а в некоторых случаях — к многолетнему промерзанию пород вокруг газопровода. С целью изучения температурного поля грунтов вокруг газопроводов, уложенных подземным, открытым наземным способами, а также в насыпи, ведут режимные наблюдения в скважинах, расположенных на термометрических поперечниках через всю полосу трассы. Термометрические поперечники выбирают с учетом особенностей мерзлотных условий, различных способов укладки труб и температурного режима газа в трубе. Измерение температур стенок труб, естественной температуры грунта вдоль трубопровода, распределение температур в грунте вокруг трубопровода по сезонам года производят в соответствии с программами обследования температурных режимов и теплового взаимодействия трубопроводов с окружающей средой [13].

Визуальные обследования трассы проектируемого трубопровода пешим порядком и с использованием транспортных средств (автотранспорта, летательных аппаратов, судов и др.) позволяют визуально оценить состояние участка в пределах охранной зоны, выявить изменения растительного покрова и рельефа, особенно в северных и горных условиях. Недостатком данного вида обследования является его субъективность, поэтому в последнее время визуальное обследование дополняется телеметрией с последующей компьютерной обработкой телеизображений.

Аэрокосмический мониторинг (АКМ) — комплекс исследований поверхности Земли и объектов трубопроводных систем, осуществляемый с помощью различных космических аппаратов, самолетов и вертолетов путем регистрации собственного и отраженного электромагнитного излучения природных и техногенных объектов приемными устройствами с последующей обработкой, интерпретацией и анализом полученных данных.

Технологии, основанные на применении дистанционного зондирования, позволяют обнаруживать проблемные участки прокладки трубопроводов: утечки, разливы, выбросы, несанкционированную деятельность в охранной

зоне, организовать дистанционный контроль за ходом строительства и соответствием проекту и т.д.

Аэрокосмическая автоматизированная съемка трасс магистральных трубопроводов с использованием цветной, многозональной, инфракрасной, радиочастотной и других методов съемки позволяет оценить состояние и динамику развития геологических и биологических процессов на проектируемых и существующих трассах (обводнение, осушение, изменение покрова и др.), а также выявить наличие и состояния имеющихся инженерных сооружений, дорог, насыпей, трубопроводов и др.

В последнее время наибольшее распространение в АКМ получает **метод орбитальной радиолокации**. Современные орбитальные локаторы по разрешению приближаются к оптическим средствам, но не зависят от наличия облачности.

Использование многозональной (гиперспектральной) фотосъемки и многочастотной радиолокации обеспечивает обнаружение и позиционирование скрытых подпочвенных объектов искусственного (как газопроводы) и естественного (как карсты) происхождения.

Подготовленные снимки, сохраняемые и накапливаемые в базах изображений, далее проходят обработку фотограмметрическими методами, которые позволяют определять размеры, форму, пространственное положение объектов по их изображениям. Стерефотограмметрия — одновременная обработка снимков, образующих стереопары, позволяет получать объемные изображения объектов, их высотное положение, видеть и измерять элементы рельефа. Цифровая фотограмметрия позволяет также осуществлять ортотрансформирование снимков (приведение к плановому виду и др.), их координатную привязку (по реперам на снимках или по данным GPS-измерений в процессе съемки), преобразование снимков в заданную проекцию, наложение фото- и инфракрасных изображений и т.д. Далее, используя методы цифровой фотограмметрии, по снимкам осуществляются инструментальное и визуальное дешифрирование трасс и элементов трубопроводов, природно-ландшафтное и ландшафтно-геологическое дешифрирование местности. Дешифрирование — это процесс выявления, распознавания по соответствующим признакам природных и антропогенных объектов, процессов, явлений, получения качественной и количественной информации об их состоянии, составе, структуре, размерах, взаимосвязях и динамике [19].

Хорошо согласуется с методами дистанционного зондирования **метод геопозиционирования** с использованием систем спутниковой навигации (GPS). Малые размеры и вес, простота, точность и производительность GPS таковы, что их можно использовать как некоторое расширение существующих технологий обследования без значительного повышения стоимости обследования.

Геоинформационные системы (ГИС) фактически являются разновидностью баз данных, хранящих, помимо прочего, пространственные координаты объекта. Они также очень близки к системам инженерной графики (типа AutoCAD) и векторным графическим редакторам (типа CorelDraw), но некоторые их отличительные черты ставят их в особое положение:

1) изначально все ГИС размещают информацию в базах данных. Это могут быть встроенные БД со специфическими форматами или (что становится все более распространенным) промышленные СУБД типа Oracle. Этим обеспечивается возможность сохранения и анализа атрибутов (характеристик) объектов с помощью хорошо отлаженных мощных средств СУБД;

2) ГИС обеспечивают визуализацию пространственных данных в избранной географической (и негеографической) проекции, т.е. создание электронных карт;

3) встроенный механизм геозапросов позволяет точно определять не прописанные в базе данных параметры (площадь, длина, периметр на сфере) и взаимные отношения (пересечения, расстояния и т.д.) пространственных объектов.

Карты по сравнению со снимками имеют ряд преимуществ, а именно: они построены по математическому закону, строго формализованы, по содержанию богаче снимков (могут содержать качественные и количественные характеристики объектов), могут содержать результаты расчетов и обобщений, могут передавать динамику процессов во времени и пространстве и т.д. Электронная карта, будучи моделью земной поверхности, обеспечивает точное размещение и поиск любого объекта, имеющего географические координаты.

Таким образом, каждый объект может быть описан как своими атрибутами и данными измерений, так и с точки зрения пространственного положения, независимо от того, является ли объект точечным (кран, тройник, шов и т.д.), протяженным (магистральный трубопровод, ЛЭП) или площадным (территория компрессорной станции, нефтеперекачивающая станция, охранная зона, озеро и т.д.). В зависимости от избранного масштаба карты тот или иной объект представляется как точечный, линейный или площадочный (рис. 1).

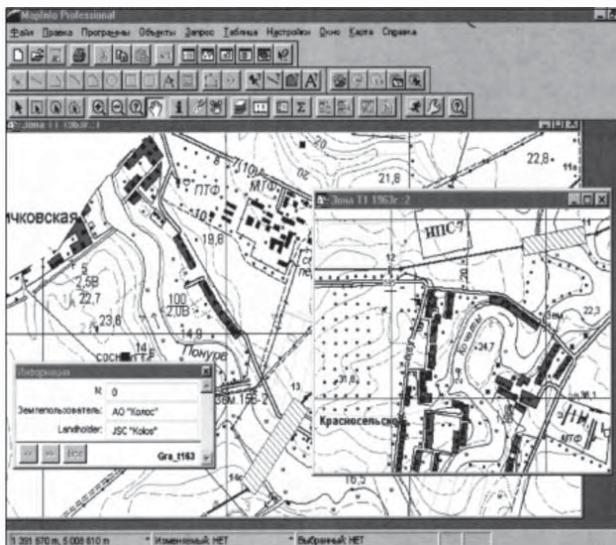


Рис. 1. Электронная карта объектов нефтепровода

На участке технического коридора магистрального газопровода предлагается следующий технологический цикл:

1) аэрофотосъемка коридора МГ в трехкилометровой полосе в видимом и инфракрасном диапазонах. Снимки должны производиться с перекрытием так, чтобы зоны перекрытия образовали стереопары;

2) полевые исследования (геодезическая съемка, GPS-привязка). При этом на местности геопривязываются реперные точки (объекты);

3) трансформация стереопар методами цифровой фотограмметрии с использованием координат привязанных реперов в некую географическую проекцию с дешифровкой и построением цифровой модели местности и электронных карт.

Предметом проектно-строительной комплексной диагностики являются не только геоинформационные данные, но и одновременная паспортизация объектов газопроводов, попавших в поле зрения. По сути речь идет о создании электронного комплекта исполнительной документации или, как это стало модным называть, документации «как построено».

Данные начальной диагностики и ГИС должны стать «документами», характеризующими состояние и положение трубопровода до начала его эксплуатации, т.е. определяющими «как построены». На основе таких характеристик предлагается создать электрический паспорт трубопровода. Дальнейшее изменение состояния трубопровода постоянно фиксируется в электронном паспорте, что позволяет не только организовать контроль в режиме реального времени, но и осуществлять многофакторное компьютерное моделирование изменения состояния трубопровода, в том числе по предельным нагрузкам с применением современных программно-аппаратных комплексов.

Повышению надежности функционирования системы трубопроводного транспорта должно способствовать принятие специальных технических регламентов. В настоящее время разрабатываются следующие регламенты:

«О безопасности магистрального трубопроводного транспорта, внутрипромысловых и местных распределительных трубопроводов»;

«О безопасности производственных процессов добычи, транспортировки и хранения нефти и газа»;

«О безопасности производственных процессов и систем газоснабжения»;

«О требованиях к безопасности нефтегазового оборудования»;

«О безопасности нефтегазопромыслового и бурового оборудования для разработки морских нефтегазовых месторождений»;

«О требованиях к безопасности хранилищ нефти, нефтепродуктов и сжиженного газа».

Из вышесказанного можно сделать объективный вывод, что техническая диагностика магистральных трубопроводов является весьма надежным, достоверным и экономически оправданным методом профилактики отказов и аварий. Обладающая большими потенциальными возможностями техническая диагностика по праву займет ведущее место в системе управления любого строительного и эксплуатационного предприятия [20].

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте приоритеты концепции обеспечения безопасности трубопроводного транспорта России.
2. Какие задачи решаются на стадии проектного мониторинга?
3. Какие задачи решаются на стадии строительного мониторинга?
4. Какие задачи решаются на стадии эксплуатационного мониторинга?
5. В чем сущность внутритрубной диагностики?
6. Какие преимущества присущи аэрокосмическому мониторингу по сравнению с обследованиями?
7. Что такое ГИС-технологии?
8. В чем преимущество электронных карт перед электронными фотографиями?
9. Какие возможности появляются с внедрением электронных паспортов трубопроводов?
10. Какие регламенты планируется внедрить в области повышения надежности объектов трубопроводного транспорта?

2. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДА

Для выполнения проектных и изыскательских работ между заказчиком и подрядчиком (проектировщиком) заключается договор подряда, по которому подрядчик обязуется разработать и передать заказчику соответствующие чертежи и техническую документацию, а также выполнить требуемый объем изыскательских работ. В случае производства работ сооружения трубопровода «под ключ» с проектно-строительной организацией заключают один комплексный договор подряда. Обязанностью заказчика является составление и передача подрядчику до начала работ задание на проектирование, одновременно с которым передается весь комплект соответствующих документов (разрешения, акт землеотвода, согласования и т.п.) в соответствии с действующими нормативными документами. Проектное задание разрабатывают для установления основных проектных решений, которые обеспечивают наиболее эффективное использование труда, материальных и денежных ресурсов в процессе эксплуатации, также осуществление строительства в установленные сроки и определяют общую стоимость строительства и основных технико-экономических показателей трубопровода. В проектном задании указываются начальная и конечная точки трубопровода.

Основным проектным документом на строительство является технико-экономическое обоснование (ТЭО).

Согласно действующим нормативным документам для строительства таких уникальных объектов как магистральный трубопровод может разрабатываться рабочий проект (документация).

Инженерные изыскания должны обеспечивать изучение природно-климатических и литологических условий района строительства, особенностей, наличия инженерных коммуникаций и других факторов, учет которых позволит обеспечить разработку технически целесообразных и экономически обоснованных решений при проектировании и строительстве объекта.

Изыскания должны обеспечить получение топографо-геодезических данных, необходимых для разработки проекта и выбора оптимальной трассы, вида и глубины прокладки.

После выбора оптимальной трассы все расчеты технико-экономического обоснования уточняются. Оптимизация трассы трубопровода может быть произведена по различным критериям. Общими являются минимизация строительных эксплуатационных затрат, но в зависимости от конкретных условий критериями оптимальности могут быть экологичность проекта, минимизация сроков строительства, уровень надежности, возможность развития системы, контроль и ремонтпригодность и др.

Климат, почва, рельеф, геологические структуры, сейсмика, неотектоника и прочие естественные факторы существенно сказываются на том, как ведутся проектирование, строительство и эксплуатация магистральных газопроводов и оборудования компрессорных станций. Почвенно-климатические и геологиче-

ские факторы достаточно подробно изучаются и наносятся на карты вне прямой связи с проблематикой газовой отрасли. Подробное их знание необходимо для всех сфер человеческой деятельности. Конечно, некоторые характеристики окружающей среды имеют большее или меньшее значение, но, как правило, все они достаточно хорошо документированы и проблема скорее в том, чтобы иметь необходимый инструмент для анализа влияния природных факторов на надежность и долговечность оборудования и систем ЕСГ.

2.1. Определение состава грунтов и их свойств

Состав грунтов и их свойства являются основными факторами, определяющими условия строительства газопроводов, особенно в районах Крайнего Севера. От особенностей литологического состава отложений, их генезиса и криогенного строения зависят температурный режим и глубина сезонного промерзания или оттаивания грунтов, характер проявления инженерно-геологических процессов на трассах газопроводов.

Литологические особенности пород характеризуются гранулометрическим и минералогическим составом, содержанием водорастворимых солей и органических остатков.

Физические свойства определяют следующими основными показателями: объемным весом грунта с естественной влажностью и нарушенной структурой;

объемным весом скелета грунта;

удельным весом;

пористостью;

влажностью (максимальная молекулярная, полная влагоемкость, число пластичности);

льдистостью;

коэффициентом фильтрации.

В специально оборудованных шурфах ведут наблюдения за режимом надмерзлотных вод (колебанием уровня, направлением стока) и определяют коэффициент фильтрации оттаивающих грунтов.

Нивелировку необходимо выполнять не менее двух раз в год: один раз весной до наступления протаивания и второй — в конце лета, когда протаивание прекратится. При составлении технологических карт на разработку траншей для участков, прокладываемых в вечномерзлых грунтах, учитывают прочностные свойства вечномерзлых грунтов, параметры траншеи и производительной техники.

В проектах производства работ на сооружение подземных трубопроводов на участках вечномерзлых грунтов учитывают:

характеристику вечномерзлых грунтов (глубину, структуру залегания и др.);

состав вечномерзлых грунтов после оттаивания;

мощность, характер и время образования снежного покрова;

толщину, прочность ледяного покрова;

продолжительность летнего периода;

необходимость сохранения растительности.

Необходимо определить взаимодействие вечномерзлых грунтов с работающим трубопроводом, который может являться источником тепла и привести к размораживанию грунтов околотрубного пространства. Под «горячим» в этом случае понимают участок, температура которого в течение всего года выше ноля. Под «теплым» — участок, на котором температура может колебаться выше и ниже 0 °С в различный период эксплуатации, под «холодным» — температура трубопровода ниже 0 °С в любое время года. Только определив принадлежность участка трубопровода к одному из типов, можно заранее сказать, что на горячем участке будет происходить только оттаивание грунта, на «теплом» периодическое оттаивание и замерзание, а на «холодном» оттаивания не будет.

В зимний период вечномерзлые грунты представляют собой монолит скального типа, что обеспечивает работу любых строительных машин, т.е. технология та же, что и при нормальных условиях.

Агрессивность грунтов с точки зрения инициирования ими общей коррозии подземных трубопроводов изучена достаточно хорошо. Параметры, которые обычно рассматривают при оценке общей коррозионной активности грунта, можно разделить на три группы: физико-химические, химические и микробиологические. К **физико-химическим** относятся тип почвы, ее влажность, электропроводность и окислительно-восстановительный потенциал (Eh).

Для определения коррозионной агрессивности грунтов производят лабораторные и лабораторно-полевые изыскания с отбором проб грунта. Обобщенную методику определения коррозионной активности грунта представляет соответствующий ГОСТ. В соответствии с ним агрессивность грунта определяется по потере массы металлической пластинки, помещенной в исследуемый грунт.

Обычно только в лабораторных условиях определяют влажность почвы: воздушно-сухую — высушиванием на воздухе при комнатной температуре и гигроскопическую — при 105 °С.

Электропроводность водных вытяжек грунтов определяют как в лаборатории, так и в полевых условиях любым кондуктометром.

Только в полевых условиях определяют значение Eh, т.к. его величина в отобранных образцах почвы может быстро изменяться.

В трассовых условиях оценку коррозионной агрессивности проводят путем измерения удельного электрического сопротивления грунта (в различное время года при различном уровне грунтовых вод).

Под **химическими методами** оценки коррозионной агрессивности грунтов околотрубного пространства обычно понимают определение концентраций агрессивных ионов, таких как H^+ , Cl^- , SO_4^{2-} и карбонат-содержащих ионов в водной вытяжке грунта. Пробу грунта (с естественной влажностью и ненарушенной структурой) отбирают с помощью специальных пробоотборников с глубины, соответствующей глубине залегания проектируемого трубопровода. Экспресс-анализ осуществляют с применением переносных газовых анализаторов различных типов [3].

Микробиологические методы. Важным фактором усиления агрессивности среды с точки зрения локальных коррозионных процессов является наличие

микробиологических процессов в грунте. Именно микроорганизмы (а в большей мере продукты их метаболизма) являются инициаторами коррозионных и стресс-коррозионных разрушений, биодеструкции изоляционных покрытий.

В качестве интегрального показателя коррозионной агрессивности грунта используют общее микробное число (ОМЧ). Его определяют прямым микрокопированием обработанных специальными люминесцентными красителями водных экстрактов почвы [НО], а также определяют количество ДНК или АТФ [21].

Новейшим универсальным средством анализа биокоррозионной агрессивности является компьютеризированная экспертная система «Эколог» [22]. Принцип действия системы основан на выделении из проб грунта всех почвенных микроорганизмов и количественной оценке использования этими микроорганизмами 47 основных источников питательных веществ, имеющихся в почве (так называемое мультисубстратное тестирование — МСТ). Определяемый показатель характеризует функциональное состояние всех почвенных микроорганизмов и позволяет получить исчерпывающие данные о состоянии природных микробных сообществ [23].

Наиболее перспективно комплексное применение различных диагностических методов при обследовании, повышающее точность выявления зон повышенной и высокой коррозионной и стресс-коррозионной опасности с целью принятия соответствующих технических решений по защите газопровода.

2.2. Индукционные методы поиска подземных коммуникаций

Обследование проектируемой трассы индукционными методами позволяет определить наличие подземных коммуникаций (кабелей, труб), направление и глубину их залегания. Производятся при поиске трассы для проведения строительных работ во избежание повреждения кабельных линий, трубопроводов (рис. 2). Методы поиска коммуникаций основаны на возникновении переменного магнитного поля вокруг проводника, по которому протекает переменный электрический ток. Поле, порождаемое единичным проводником с током, можно представить в виде концентрических колец вокруг этого проводника. Измеряя это поле с помощью специальной приемной катушки-антенны, можно оценить положение проводника (кабеля, трубы), его направление и расстояние до оператора.

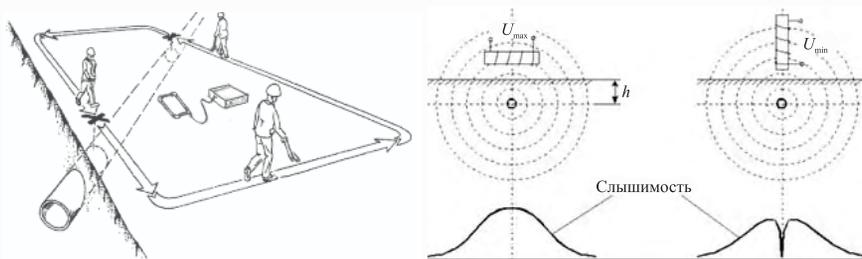


Рис. 2. Обследование местности индукционными методами

Уровень сигнала, наводимый в приемную антенну, зависит от нескольких факторов, таких как расстояние до проводника, взаимная ориентация антенны и проводника, среды между ними, наличия поблизости сторонних металлических объектов и некоторых других.

При оценке технического состояния трубопровода на стадии проектирования необходимо решить следующие задачи:

определение возможности образования дефектов на участках газопроводов; установление динамики развития дефектов труб и защитных покрытий во времени;

установление динамики изменения физико-механических характеристик материала газопровода;

определение изменения технологических параметров в процессе эксплуатации трубопроводов;

определение динамики развития условий взаимодействия трубопроводов с окружающей средой;

расчет аварийноопасных участков трубопроводов, оптимальных режимов их эксплуатации и разработки предложений по поддержанию их конструктивной надежности [24].

Собственно диагностика (аудит) проекта заключается в контроле соответствия проектных решений уровню научно-технического прогресса, условиям прокладки, критериям оптимизации и специфическим требованиям Заказчика, опыта и квалификации исполнительной организации.

Диагностику проектов наиболее рационально доверить независимым диагностическим центрам и аудиторским организациям, т.к. любые (даже незначительные) просчеты могут обернуться как удорожанием строительства, так и снижением уровня надежности трубопровода.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте взаимодействие между заказчиком и подрядчиком при производстве проектно-изыскательских работ.

2. Какие задачи решаются на стадии проектных изысканий?

3. Какие показатели грунта являются наиболее важными при изысканиях?

4. Какие методы контроля коррозионной агрессивности грунта применяют на практике?

5. Почему необходимо при изысканиях на трассе проводить контроль почвенных микроорганизмов?

6. Какие особенности присущи изысканиям в районах Сибири и Крайнего Севера?

7. Какие критерии оптимальности применяют при проектировании?

8. На каком принципе основана работа индукционных трассоискателей?

9. Какие задачи для оценки надежности трубопроводов необходимо решать на стадии проектирования?

10. Почему аудит проектов необходимо доверять независимым аудиторам?

3. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ И ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

Подготовка строительной полосы для сооружения подземного трубопровода должна соответствовать не только конструктивным решениям каждого участка, но и технологии и организации производства всех отдельных видов строительных и специальных работ.

Ширина полосы для одного подземного трубопровода указывается в зависимости от диаметра и вида грунта.

Требования к магистральным газопроводам, условиям прокладки, объему и видам контроля устанавливаются СНиП 2.05.06—85*, к производству работ — СНиП 12-04—2002 часть 2, к контролю качества и приемки работ — ВСН 012—88.

Прежде чем начать какие-либо работы, связанные со строительством любого объекта, тем более такого сложного как магистральный трубопровод, основные оси и размеры сооружений переносят с чертежей на местность. Работы, выполняемые при этом, называют разбивочными.

Предварительно создают опорную геодезическую сеть, привязанную в горизонтальном и высотном положении к государственной триангуляционной (метод определения положения геодезических пунктов) и нивелирной сети. Опорные точки на трассе закрепляют реперами — бетонными, металлическими или деревянными столбами диаметром 12...15 см и длиной 2 м.

Привязку проекта трубопровода к местности осуществляют в системе прямоугольных координат. Для этого на генеральный план наносят строительную сетку квадратов, а затем в соответствии с ней производят разбивку осей. Перед началом строительства подрядчик выполняет следующие работы:

контроль геодезической разбивочной основы с точностью 1:500, линейные измерения и нивелирования между реперами с точностью 50 мм на 1 км;

трасса принимается от заказчика по акту; если измерение отличается от проектной на ± 10 см, необходимо устанавливать дополнительные знаки по оси трассы и по границам строительной полосы.

В соответствии с ВСН 012—88 «Контроль качества и приема работ» контроль подготовительных работ осуществляется систематическим наблюдением и проверкой соответствия выполняемых работ требованиям нормативной документации. Необходимо контролировать:

правильность закрепления трассы (створные знаки углов поворота трассы не менее 2-х на каждое направление угла в пределах видимости): створные знаки на прямолинейных участках попарно в пределах видимости не реже чем через 1 км; высотные реперы не реже чем через 5 км; допустимые погрешности угловых измерений ± 2 ; линейные измерения 1/1000; определение отметок ± 50 ; наличие разъездов; соответствие стратегических отметок и ширины полосы требованиям проекта;

правильность геодезической разбивочной основы (см. подготовительные работы). Трасса принимается по актам, если изменение длины линий отлича-

ется от проекта не более чем на 1/300 длины; углы не более чем на 5° и отметки между реперами не более чем на 50 мм.

Контроль грунта позволяет не только оценить его коррозионную агрессивность, но и оценить устойчивость конструкции. Природно-климатические условия напрямую влияют на стоимость трубопровода и определяют его устойчивость. Почвенно-климатические условия конкретных мест размещения участков МГ, антропогенная освоенность территории являются факторами, существенно влияющими на долговечность и надежность работы оборудования и систем ЕСГ, на планирование и проведение работ по обслуживанию и ремонту.

Параметры земляных сооружений (ширина траншеи, глубина, высота насыпи, крутизна откосов) определяются проектом в соответствии с СНиП по проектированию.

Перед разработкой траншеи воспроизводят разбивку ее оси. Основание траншеи выравнивают по проекту.

Земляные работы проводятся с обеспечением требований качества и операционным контролем, который состоит из систематического заключения и проверки соответствия выполняемой работы требованиям нормативной документации.

Операционный контроль качества земляных работ включает:

- проверку предварительности переноса фактической оси траншеи и ее соответствие проекту;

- проверку отметок ширины полосы для работы роторных экскаваторов;

- проверку профиля дна траншеи с замером ее глубины и проектных отметок, проверка ширины траншеи по дну;

- проверку откосов траншеи в зависимости от грунта;

- проверку толщины слоя подсыпки на дно траншеи и толщины слоя присыпки трубопровода мягким грунтом;

- контроль толщины слоя засыпки и обвалование грунтов.

Фактические радиусы поворота траншеи определяется теодолитом, точка отклонения не должна превышать ± 200 мм.

Ширина полосы для прохода роторным экскаватором контролируется измерением рулеткой, отметка полосы — нивелиром.

Приемку законченных земляных работ осуществляет служба контроля качества по следующим параметрам:

- ширина траншеи по дну;

- глубина траншеи;

- величина откосов;

- профиль дна траншеи;

- отметка верха насыпи при засыпке насыпи.

Приемка законченных земляных сооружений осуществляется государственной комиссией. При сдаче законченных объектов генподрядчик обязан предоставить заказчику всю технологическую документацию в соответствии с перечнем ВСН.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте взаимодействие между заказчиком и подрядчиком при производстве проектно-изыскательских работ.
2. Какие задачи решаются на стадии подготовительных работ?
3. Какие задачи решают на стадии земляных работ?
4. По каким критериям выбирают ширину полосы отвода?
5. Как обеспечивается привязка проекта трубопровода к местности?
6. Какой нормативный документ определяет требования к магистральным газопроводам, условиям прокладки, объему и видам контроля?
7. Какие критерии используют при контроле подготовительных работ?
8. Что позволяет обеспечить контроль грунта на стадии строительного-монтажных работ?
9. Что включает операционный контроль земляных работ?
10. По каким показателям выполняется приемка земляных работ?

4. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ

4.1. Входной контроль труб и соединительных деталей

Затраты на линейную часть составляют до 80 % затрат на сооружение трубопровода, а основные затраты при строительстве линейной части приходятся на стоимость труб.

Основными поставщиками труб большого диаметра (529...1420 мм) для магистральных трубопроводов являются Челябинский трубопрокатный, Ижорский трубный завод, Выксунский металлургический завод, Новомосковский металлургический и Волжский трубный заводы, фирмы Японии, Франции, Германии и Китая. Старейшим поставщиком труб большого диаметра для нефтегазовой отрасли является Харцизский трубный завод (Украина).

Трубы для магистральных трубопроводов, как правило, изготавливают из низколегированных или малоуглеродистых мартеновских спокойных сталей с максимальным содержанием углерода в металле труб не более 0,27 %. Сталь труб должна хорошо свариваться дуговыми методами и стыковой контактной сваркой.

По способу изготовления трубы подразделяются на бесшовные, сварные с продольным или спиральным швом. Бесшовные трубы применяют для трубопроводов диаметром до 529 мм, а сварные — при диаметре 219 мм и выше. Наружный диаметр и толщина стенки труб стандартизованы.

В связи с большим разнообразием климатических условий при строительстве и эксплуатации трубопроводов трубы подразделяются на 2 группы: в обычном и северном исполнении. Трубы в обычном исполнении применяют для трубопроводов, прокладываемых в средней полосе и в южных районах страны (температура воздуха при эксплуатации — от 0 °С и выше, при строительстве — от -40 °С и выше).

Трубы в северном исполнении применяются при строительстве трубопроводов в северных районах (t эксплуатации -20...-40 °С, t строительства -60 °С). В соответствии с принятым исполнением труб выбирается марка стали.

Требования к трубам устанавливаются техническими условиями, разрабатываемыми на основе СНиП, ГОСТ 20295—85 и других действующих нормативных документов.

Конструктивную прочность металла труб обеспечивают на основе гарантируемых заводом качественных характеристик используемой листовой стали геометрических параметров, сплошности и механических свойств, а также применения регламентируемых стандартизованных технологических процессов производства и контроля труб. Показатели, характеризующие химический состав и механические свойства металла труб, допускаемых к применению для магистральных газопроводов, должны удовлетворять требованиям специальных технических условий или ГОСТ.

Каждая труба, предназначенная для сооружения магистральных газопроводов, должна подвергаться на заводе-изготовителе гидравлическому испытанию внутренним давлением, создающим в металле труб кольцевые напряже-

ния, равные 90 % от текучести металла в готовой трубе. Расчет напряжений выполняется по минимальной толщине стенки трубы.

При оформлении заказов на трубы по ГОСТ 20295—85 должны специально оговариваться требования к ударной вязкости металла при нормативных температурах строительства и эксплуатации, а также к вязкости излома образцов DWTT при температуре эксплуатации газопровода и другие требования, установленные указанными выше документами.

На внутренней поверхности каждой трубы на расстоянии 300...500 мм (в зависимости от диаметра) от одного из концов должны быть выбиты клейма: марка стали, месяц и год изготовления трубы, номинальные размеры по толщине стенки и диаметру, товарный знак завода и клеймо ОТК, номер трубы, номера плавки, из которых изготовлена труба, фактический эквивалент углерода и параметр $P_{см}$. Клеймо выбивается вблизи от продольного шва. Участок клеймения обводится черной краской.

На каждую партию труб производитель выдает сертификат качества, удостоверяющий их соответствие установленным требованиям с включением следующих данных:

- номинальные размеры (диаметр, толщина, длина) и вес трубы;
- номер стандарта или технических условий, по которым изготовлены трубы;
- марка или тип стали, номер плавки и номер партии;
- результаты механических испытаний;
- химический состав стали по данным анализа ковшевой пробы и контрольной пробы металла трубы;
- эквивалент углерода и параметр $P_{см}$;
- результаты неразрушающего контроля с указанием каждого вида контроля;
- результаты гидравлических испытаний.

Перед началом сварочно-монтажных работ необходимо убедиться в том, что используемые трубы, соединительные детали, запорная и распределительная арматура имеют сертификаты качества и соответствуют проекту, техническим условиям на их поставку. Зачастую дефекты материала трубы получают в процессе погрузки-разгрузки, хранения, транспортировки. Ряд дефектов (типа расслоения торцов и т.п.) объясняется нарушениями технологии изготовления. Данный фактор определяет необходимость их диагностики на всех стадиях СМР, но наиболее актуален входной контроль перед выполнением сварочно-монтажных работ.

Входной контроль труб осуществляют внешним осмотром, а также приборами и методами НК.

Визуально-измерительный контроль является основным методом контроля состояния труб и изоляции. Для его выполнения разработаны специальные комплекты ВИК, укомплектованные измерительным инструментом, осветителями, увеличителями. Для контроля внутренних поверхностей труб и обнаружения дефектов в труднодоступных местах используют промышленные эндоскопы. Они состоят из источника света для освещения объекта (блока подсветки), передающей оптической системы, насадки или дистального конца, изменяющих направ-

ление и размеры поля зрения прибора, объектива с окулярами для визуального наблюдения и подключения фото- или видеокамеры, механизм фокусировки объектива и управления насадкой или артикуляции дистального конца.

Для контроля внутренних поверхностей трубы широко применяют также самодвижущиеся тележки (кроулеры) на колесном и гусеничном шасси, на которых размещается видеодиагностическая аппаратура (рис. 3). Необходимо отметить, что ВИК сопровождает все другие виды контроля и именно с его помощью выявляют и идентифицируют до 90 % дефектов [48].



а



б

Поперечное сечение трубы должно быть круглым. Обнаруживаемые визуально местные перегибы и гофры, а также вмятины глубиной более 6 мм, замеряемой как наибольшее расстояние между дном и исходным профилем трубы, на поверхности трубы не допускаются.

Отклонение профиля поверхности от окружочминального диаметра на участке длиной 100 мм со сварным соединением не должно превышать 2 мм.

Отклонения от номинальных размеров диаметров не должны превышать $\pm 1,6$ мм по концам трубы на длине не менее 200 мм и ± 3 мм по телу трубы. Разность фактических диаметров по концам труб не должна превышать 2,4 мм.

Овальность концов труб (отношение разности между наибольшим и наименьшим диаметром в одном сечении к номинальному диаметру) не должна превышать 1 %. Овальность труб с толщиной стенки 20 мм и более не должна превышать 0,8 %.

Допуск на толщину стенки труб принимают по соответствующим стандартам, при этом минусовый допуск должен быть не более 5 % номинальной толщины стенки труб.

Разность фактических толщин стенок листов, используемых для изготовления двухшовных труб, не должна превышать 1 мм.

На поверхности труб не допускаются:

трещины, плены, рванины, закаты любых размеров;

царапины, риски и задиры глубиной более 0,4 мм;
расслоения на концах труб.

В случае трудности идентификации расслоения рекомендуется цветная дефектоскопия.

В местах, пораженных коррозией, толщина стенки труб или деталей не должна выходить за пределы минусовых допусков, установленных техническими условиями на поставку. Замер толщины стенки трубы на этих участках необходимо выполнять с помощью ультразвукового толщиномера с точностью не менее 0,1 мм.

Кривизна труб не должна превышать 1,5 мм на 1 м длины, а общая кривизна — 0,2 % длины трубы.

Длина поставляемых труб должна быть в пределах 10500...11600 мм. Трубы должны поставляться с заводским изоляционным покрытием.

Наиболее прост и достоверен в оценке состояния металла труб и сварных соединений **радиографический контроль**. Принципиальных трудностей применения радиографических методов для входного контроля металла труб нет, однако технические трудности, такие как обеспечение условий сканирования всей контролируемой поверхности, при которой возможно выявление отдельных дефектов, а также раздельной регистрации лучей обратного рассеивания, очень велики. Кроме того, метод небезопасен для персонала, проводящего дефектоскопию. По этой причине радиографический метод входного контроля



в

Рис. 3. Система видеоконтроля на базе кроулеров: а — кроулер на колесном шасси; б — кроулер на гусеничном шасси; в — внутренняя поверхность трубы

труб до настоящего времени практически не применяется, широко используется в то же время для контроля сварных стыков трубопроводов как при их строительстве, так и в заводских условиях.

Ультразвуковой контроль, напротив, широко используется при входном контроле труб как для измерения толщины металла и покрытий, так и для выявления внутренних и наружных дефектов металла и заводских сварных соединений. Возбуждение колебаний при дефектоскопии производится с помощью пьезопреобразователей (ПЭПов), при этом превышение амплитуды отраженного

сигнала на заданном уровне фиксации при эхо-методе является признаком наличия дефекта (рис. 4).

В зависимости от назначения, метода диагностики, объекта и дефектов применяют различные преобразователи (датчики излучения и приема ультразвуковых волн).

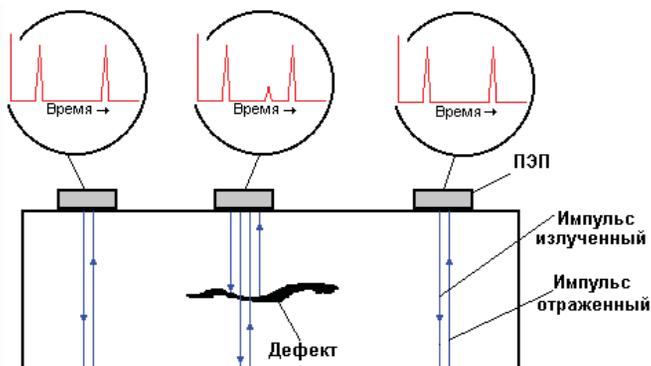


Рис. 4. Принцип работы ультразвукового дефектоскопа

Наиболее совершенные ультразвуковые установки, например «Скаруч-Сканер», более компактны, безопасны и дешевле, чем рентгеновские [25]. Однако их основным недостатком является малая зона охвата, что неприемлемо при организации поточной дефектоскопии труб. Для решения этих задач входного контроля разрабатываются автоматизированные диагностические многоканальные ультразвуковые системы, позволяющие в кратчайшие сроки обследовать большую площадь трубы. Возможность их применения с различными датчиками и сканерами позволяет проводить картографирование дефектов разнообразного типоразмера труб и других конструкций.

Например, уникальная сканирующая ультразвуковая система WAVEMAKER (рис. 5) состоит из кольца, одеваемого на трубу с встроенными преобразователями, и прибора-регистратора, совместимого с ПЭВМ. В комплект входит портативная ПЭВМ типа ноутбука со специализированным программным обеспечением для обработки результатов измерений. Система позволяет провести высокоскоростное сканирование всей поверхности трубы, при минимальном участии оператора и в режиме реального времени получить результат обследования [26].

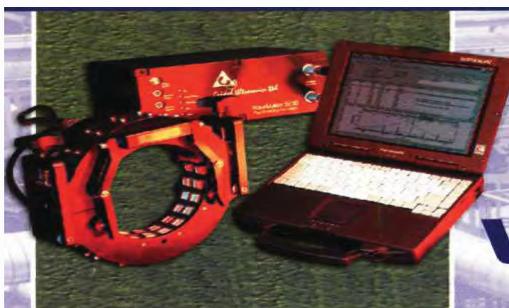


Рис. 5. Система сканирующая ультразвуковая WAVEMAKER

Магнитный контроль является наиболее наглядным методом определения наличия различных дефектов на поверхности стали и расслоений как в полевых условиях, так и в условиях трубосварочных баз [27].

Магнитные поля рассеивания над дефектами регистрируют с помощью магнитного порошка или суспензии (магнитопорошковый метод), ферромагнитной ленты (магнитографический метод), феррозондов (феррозондовый метод).

Метод магнитных частиц (магнитопорошковый) предназначен для осмотра концов труб, прошедших эспандирование после заводской дефектоскопии. Магнитное поле создают индукторы или прямые проводники тока. В качестве индикатора поля рассеивания служат частицы магнитного порошка, которые, попадая в поле рассеивания дефекта, притягиваясь к нему, образуют индикаторный рисунок дефекта (рис. 6).

В месте дефекта частицы концентрируются. После применения магнитной дефектоскопии трубы размагничивают наложением кольцевого магнитного поля (5000 А).

Этот метод отличается простотой изготовления и надежностью, но применим только к изделиям из ферромагнитных материалов и позволяет определять дефекты типа трещин, неметаллических включений и т.д. Хорошо обнаруживаются поверхностные дефекты до определенной глубины. Данный метод наиболее эффективен для контроля торцов труб и сварных соединений.

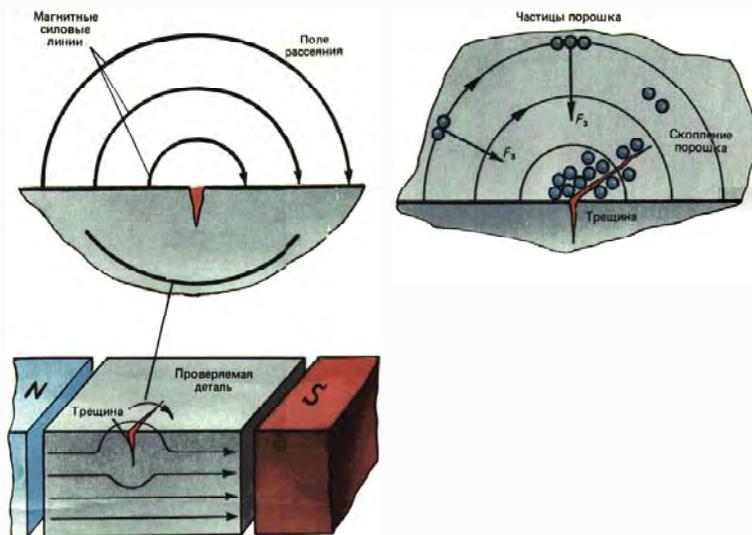


Рис. 6. Принцип действия магнитопорошкового метода

Феррозондовый метод контроля основан на намагничивании детали, перемещении феррозондового преобразователя в контролируемой зоне и регистрации дефектов по наличию градиента нормальной составляющей напря-

женности (H_n) магнитного поля рассеивания дефекта. Феррозондовые преобразователи (ФП) подразделяются на градиентометры и полемеры. Полемеры применяются для определения качества намагничивания деталей, а градиентометры — для выявления дефектов. Феррозондовый метод применяют для обнаружения дефектов типа расслоений, трещин и включений, расположенных на глубине до 20 мм [28].

Фирма «Газприборавтоматикасервис» разработала конструкцию внешнетрубного дефектоскопа ДНС-1400 с феррозондовыми преобразователями по принципу работы, схожему с внутритрубным магнитным дефектоскопом.

Особенностью применения данного типа снаряда является то, что он перемещается с внешней стороны трубы и проводит контроль состояния металла трубы с точностью внутритрубного обследования. Стоимость обследования в этом случае на порядок ниже, чем внутритрубного, к тому же появляется возможность использования магнитной диагностики для участков, непроходимых для внутритрубных снарядов, входного контроля труб, контроля сварных стыков на трубосварочных базах и в трассовых условиях, оценки состояния труб при капитальном ремонте трубопровода и аварийного запаса (рис. 7) [27].



Рис. 7. Применение внешнетрубного дефектоскопа ДНС-1400 на участке газопровода, выведенного в ремонт

Наиболее целесообразно применение данных приборов при ремонте и реконструкции газопроводов, что позволит значительно сократить расход труб за счет их повторного использования [29].

Вихретоковый контроль является достаточно достоверным и недорогим методом для выявления дефектов металла труб, в том числе и узких трещин.

Преимуществами данного метода являются:

возможность диагностики грубых и загрязненных поверхностей;

возможность проведения контроля без контакта преобразователя с объектом контроля;

отсутствие необходимости применения контактной жидкости;

оперативность получения результатов контроля;

высокая скорость сканирования (до 2,5 м/с — при динамическом автоматизированном вихретоковом контроле);

безвредность для здоровья;

отсутствие влияния нагрева на результаты контроля [30].

Для контроля протяженных трубопроводов используют многоканальные дефектоскопы, например ОКО-01 (рис. 8), которые обеспечивают представление вихретоковой информации от множества датчиков в комплексной плоскости, что позволяет обследовать большие площади объекта и селективировать дефекты и помехи как по амплитуде, так и по фазе сигнала.



Рис. 8. Многоканальный вихретоковый дефектоскоп

Автоматическое измерение дает возможность обеспечить оценку величины дефекта в реальном времени для каждой точки данных.

Контроль механических свойств трубных сталей проводят путем отбора специальных проб, вырезаемых из участков трубы вблизи ее торцов. Пробы для механических испытаний основного металла отбирают в местах периметра, расположенных под углом 90° к сварному шву. Требования к механическим свойствам основного металла труб устанавливают с учетом обеспечения нижеследующих нормативных показателей.

Максимальные значения предела текучести и временного сопротивления разрыву основного металла могут превышать нормативные показатели не более, чем на 98,1 МПа.

Допускается превышение регламентируемых значений предела текучести на 19,2 МПа при условии, что отношение предела текучести к временному сопротивлению разрыву не будет превышать 0,85. Отношение предела текучести к временному сопротивлению разрыву основного металла труб не должно превышать 0,9.

Относительное удлинение металла труб на пятикратных образцах должно быть не менее 20 %.

Определение предела текучести, временного сопротивления разрыву, отношения предела текучести к временному сопротивлению и относительного удлинения производят при испытаниях на растяжение поперечных плоских или цилиндрических образцов по ГОСТ 1497—84. Плоские образцы изготавливают после правки темплетов с применением статической нагрузки. При изготовлении цилиндрических образцов для испытаний на растяжение производят правку темплетов не производят. По требованию заказчика дополнительно испытывают продольные плоские или цилиндрические образцы.

При явно выраженном пределе текучести следует принимать его верхнее значение, в остальных случаях определяют условный предел текучести при остаточной деформации 0,2 %. По требованию заказчика допускается определять условный предел текучести при остаточной деформации 0,5 %. Временное сопротивление разрыву сварных соединений должно быть не ниже нормы, установленной для основного металла. Испытание на растяжение сварного соединения труб должно проводиться по ГОСТ 6996—66 на поперечных плоских образцах типа XII со снятым усилением.

Контроль химсостава, хладностойкости, коррозионной стойкости и других важных для заказчика свойств проводят путем отбора специальных проб, вырезаемых из участков трубы (темплетов). Объем и глубина контроля устанавливаются заказчиком по согласованию с производителем.

Соединительные детали устанавливают в местах поворотов, переходов и разветвлений магистрального газопровода. Они служат для изменения направления газопровода, устройства отводов, сопряжения одного трубопровода с другим. В качестве соединительных деталей применяют отводы, тройники, переходники и переходные кольца.

Отвод (колесо) — деталь, соединяющая трубы под углом для осуществления поворота газопровода. Тройник — деталь с тремя подсоединительными концами для подключения отводов к потребителям газа, лупинга или перемычки. Переходник — деталь для соединения труб различного диаметра. Переходное кольцо — деталь для соединения труб равного диаметра с разной толщиной стенок.

Соединительные детали по принципу присоединения к газопроводу делятся на резьбовые, фланцевые и привариваемые встык. При монтаже стального газопровода применяют только детали, привариваемые встык. Это позволяет ускорить монтаж газопровода, повысить его надежность, сократить расход металла и упростить технологию его изготовления. По способу изготовления детали газопровода могут быть сварными и штампованными (ОСТ 102-54—81...ОСТ 102-62—81). Заводы-изготовители труб изготавливают стальные приварные детали диаметром 426...1420 мм для газопроводов с неагрессивными и слабоагрессивными средами с условным давлением от 1,6 до 10 МПа и температурой стенки 20...150 °С. В зависимости от категории газопровода для деталей устанавливают коэффициент условия работы: В — 0,6; I...IV — 0,75. Требования к соединительным деталям аналогичны требованиям к трубам.

Допускается изготовление гнутых труб с различными углами поворота непосредственно на трассе с помощью трубогибочных станков и приспособлений. Все изготовленные изделия должны пройти дефектоскопию, контроль напряжений, и должен быть выполнен расчет на прочность.

4.2. Контроль сварных соединений трубопроводов

Виды дефектов сварных соединений. Сварным швам, выполненным как в заводских, так и в трассовых условиях, присущи типовые металлургические дефекты (раковины, газовые поры, шлаковые включения и др.), дефекты сборки, а также дефекты нарушения технологии сварки и термообработки (непровары, изменение размеров зерен, горячие и холодные трещины, ликвации).

Дефекты, наблюдаемые в сварных стыках трубопроводов, по степени опасности могут быть разделены на две группы.

К первой группе относятся дефекты, вызывающие нарушение герметичности трубопровода, например, сквозные поры, трещины, разрывы. Поры имеют обычно групповой характер и приводят к образованию в стыках свищей. Наиболее часто поры наблюдаются в замыкающих участках стыков (замках) при газовой и электродуговой сварке.

Ко второй группе относятся дефекты, выявляемые внешним осмотром или просвечиванием швов гамма-лучами радиоактивных элементов в процессе строительства, они не вызывают нарушения герметичности трубы. К числу таких дефектов сварных швов относятся несквозные поры и шлаковые включения, подрезы, непровары, несквозные трещины, расположенные как в корне шва, так и по кромкам. Несмотря на то, что эти дефекты не нарушают герметичности сварных соединений, наличие их значительно уменьшает прочность и часто приводит к последующему разрушению стыков.

Имеются также случаи разрывов труб в сварных стыках, не имеющих дефектов. Это объясняется главным образом большим расхождением механических свойств металла шва и основного металла вследствие применения электродов, которые не обеспечивают предела прочности и предела текучести металла шва, приблизительно равным соответствующим прочностным характеристикам основного металла.

Конструктивную прочность сварных соединений труб обеспечивают на основе гарантируемых характеристик применяемой листовой стали, регламентированных формы, сплошности и механических свойств сварного соединения, а также использования регламентированных процессов сварки труб, последующей обработки и контроля сварных соединений.

Методы контроля сварных соединений. Контроль сварных швов производят:

- в процессе изготовления изделия (технологический контроль);
- при приемно-сдаточных испытаниях;
- при эксплуатации изделия в соответствии с правилами эксплуатации.

Последовательность и объем контроля должны соответствовать требованиям нормативной документации (НД) на изделие. Результаты контроля фиксируются в паспорте изделия и в эксплуатационной документации.

Технический контроль в сварочном производстве разделяют на входной, операционный и приемочный.

К *входному контролю* относят контроль основных и сварочных материалов и полуфабрикатов, предназначенных для использования при изготовлении изделий, а также предварительный контроль сварочного оборудования и квалификации сварщиков.

Марки применяемых сварочных материалов должны быть аттестованы для трубопроводного строительства и удовлетворять требованиям ГОСТ 9466—75 (электроды); ГОСТ 9087—81 (флюсы); ГОСТ 2246—70 (проволоки); ГОСТ 10157—79 (аргон сорта А); ГОСТ 8050—85 (двуокись углерода сварочная — 1 или 2, углекислый газ сварочный — 1 или 2), а также техническим условиям на их поставку, утвержденным в установленном порядке.

Для газовой резки должны применяться: кислород технический по ГОСТ 5583—78, ацетилен в баллонах, пропан-бутановая смесь по ГОСТ 5457—75.

Все сварочные материалы перед их использованием должны пройти входной контроль, включающий:

- проверку соответствия марки сварочного материала;
- проверку наличия сертификатов качества завода-изготовителя;
- проверку сохранности упаковки электродов;
- проверку соответствия электродов требованиям ГОСТ 9466—75 по качеству изготовления, разности толщины и механической прочности электродного;
- проверку сварочно-технологических свойств электродов.

Целью предварительного контроля является оценка работоспособности сварочного оборудования и допуск производственного персонала к выполнению сварочных работ.

Контроль технологического процесса сварки включает контроль подготовки свариваемых деталей, их сборки под сварку, непосредственно процесса сварки и полученных сварных соединений.

Перед сборкой труб необходимо провести контроль качества очистки внутренней полости труб и деталей от попавших внутрь грунта, грязи, снега, а также чистоту кромок и прилегающих к ним внутренних и наружных поверхностей труб и соединительных деталей на ширину не менее 10 мм.

При контактной стыковой сварке кольцевых стыков трубопроводов дополнительно необходимо:

- провести контрольную проверку размеров стыкуемых труб по торцам, при этом разница в фактическом периметре стыкуемых труб не должна превышать 12 мм, а разница в фактической толщине их стенок — 1 и 2,2 мм, соответственно для толщины стенок до 10 и более 10 мм;

выполнить в соответствии с технологической инструкцией и картой зачистку до металлического блеска поверхностей труб под токоподводящие башмаки сварочных машин;

проверить и, в случае необходимости, удалить усиление продольных швов труб в месте расположения силовых и токоподводящих башмаков, при этом высота оставшегося усиления продольного шва после его удаления должна быть не более 0,5 мм.

Шероховатость кромки реза не должна превышать 0,32 мм (3-й класс по ГОСТ 14792—80).

Учитывая особые требования к изготовлению сварных изделий, организация технического контроля в сварочном производстве должна быть направлена не только на приемочный контроль продукции, но и на контроль всех стадий производственного процесса ее изготовления, а также всех факторов, влияющих на качество продукции.

Перед началом производства работ каждый подрядчик обязан провести аттестацию технологии сварки, которую он планирует для использования при сооружении данного магистрального газопровода, включая ремонт и специальные сварочные работы.

Аттестуемая технология сварки должна быть представлена технологической инструкцией, в которой оговариваются:

процесс сварки или сочетание процессов, предъявляемых к аттестации, с указанием того, как выполняется этот процесс (вручную, механизировано, полумеханизировано или автоматически);

размеры труб (диаметры или толщины стенок), класс прочности труб, марка стали (тип — для импортных труб), ГОСТ или ТУ на поставку труб;

требования к подготовке кромок свариваемых труб (форма и размеры разделки кромок), требования к качеству зачистки их поверхности и тип инструмента для зачистки;

требования к сборке стыков (способ закрепления труб, допустимые зазоры и др.).

Для аттестационных технологических испытаний процесса сварки необходимо сварить кольцевое стыковое соединение в соответствии с технологической инструкцией и в присутствии представителя технадзора заказчика в условиях, тождественных трассовым, на трубах стандартной длины и с использованием материалов, машин и механизмов, которые предусмотрены технологией сварки и имеют сертификаты соответствия.

При аттестации технологии специальных сварочных работ и ремонта сварных соединений допускается выполнять работы на катушках шириной не менее 250 мм.

Система операционного контроля предусматривает контроль технологического процесса и продукции во время выполнения или после завершения технологической операции. Операционный контроль должен выполняться производителями работ и мастерами, а самоконтроль — исполнителями работ. При операционном контроле должно проверяться соответствие выполняемых работ рабочим чертежам, требованиям настоящего раздела, государственным стандартам и инструкциям, утвержденным в установленном порядке.

Приемочный контроль сварных изделий включает внешний осмотр изделия и определение его размеров, а также испытания (неразрушающие для всех изделий и разрушающие для определенного объема выборки). При приемочном контроле проверяется соответствие сварных швов нормативным требованиям. Каждый стык должен иметь клеймо сварщика или бригады сварщиков, выполняющих сварку. На стыки труб из стали с нормативным временным сопротивлением разрыву до 539 МПа (55 кгс/кв²) клейма должны наноситься механическим способом или наплавкой. Стыки труб из стали с нормативным временным сопротивлением разрыву 539 МПа (55 кгс/кв²) и более маркируются несмываемой краской снаружи трубы. Клейма наносятся на расстоянии 100...150 мм от стыка в верхней полуокружности трубы.

Для ответственных сварных изделий проводят испытания, которые подразделяют на неразрушающие и разрушающие.

Основными видами *неразрушающего контроля* сварных соединений являются:

- визуальный и измерительный по ГОСТ 23479—79, РД 03-606—03;
- радиографический по ГОСТ 7512—82;
- радиометрическая дефектоскопия;
- ультразвуковой (УЗД) по ГОСТ 14782—86, ГОСТ 20415—82;
- капиллярная дефектоскопия;
- магнитопорошковый;
- стилоскопирование.

Кроме этого могут применяться другие методы (акустическая эмиссия, вихретоковая дефектоскопия, радиоскопический, измерение твердости, и др.) в соответствии с НД.

Неразрушающий контроль сварных соединений подразделяют на структуроскопию, толщинометрию и интроскопию сварных изделий.

Под структуроскопией понимают контроль химического состава и неоднородностей структуры сварного соединения по анализу его физико-химических свойств (ультразвуковая, радиационная, магнитная и вихретоковая дефектоскопия).

К методам толщинометрии относят радиографическую и ультразвуковую диагностику.

К методам интроскопии, основанной на визуальном наблюдении внутреннего строения контролируемого объекта, относят рентгеноскопию и тепловый контроль.

Неразрушающий контроль (физическими методами, а так же визуальный и измерительный контроль) качества сварных соединений газопроводов выполняется специалистами лаборатории (группы) контроля качества, которая должна быть аттестована в соответствии с ПБ 03-372—00.

При контроле физическими методами стыков МГ дуговым способом сварки годными считаются сварные швы, в которых отсутствуют трещины любой глубины, глубина шлаковых включений не превышает 10 %.

К работам по неразрушающему контролю допускаются аттестованные специалисты неразрушающего контроля, прошедшие обучение, успешно выдержавшие квалификационные испытания и получившие удостоверения установленной формы согласно ПБ 03-440—02 [31].

Визуально-измерительный контроль проводят на всех стадиях монтажа шва. Задачей визуального контроля основного металла свариваемых изделий, кромок, подлежащих сварке, и сварных швов при монтаже и ремонте является подтверждение отсутствия продуктов коррозии на поверхности и выявление участков металла с поверхностными дефектами: трещин, расслоений, забоин, вмятин, раковин, пор, подрезов, грубой чешуйчатости, западании между валиками шва, свищей, шлаковых включений и других несплошностей, вызванных технологией изготовления, условиями хранения или транспортировкой, подтверждение наличия и правильности клеймения, а также соответствия формы (типа) разделки кромок, подлежащих сварке, требованиям НД. Визуально необходимо контролировать:

- наличие маркировки и ее соответствие ПКД предприятия-изготовителя; форму и качество обработки кромок;

- чистоту (отсутствие визуально наблюдаемых загрязнений, пыли, продуктов коррозии, масла и т.п.), подлежащих сварке кромок и прилегающих к ним поверхностей, а также подлежащих неразрушающему контролю участков основного металла;

- отсутствие трещин, расслоений, забоин, вмятин и других дефектов, вызванных технологией изготовления, условиями хранения или транспортировкой.

Задачей измерительного контроля является подтверждение соответствия геометрических размеров свариваемых изделий и сварных швов требованиям НД и определение размеров поверхностных дефектов, выявленных при визуальном контроле:

- диаметра и толщины стенки свариваемой детали;

- овальности (измерение проводят с обоих концов сборочного элемента);

- перпендикулярности торцов свариваемого изделия к его образующей;

- размеров разделки кромок (углы скоса кромок, величина притупления кромок разделки);

- радиусов скругления для специальных видов разделки под автоматическую сварку;

- размеров отверстий под врезку и обработки кромок в трубе;

- ширины зоны зачистки наружной и внутренней поверхностей и шероховатости поверхностей кромок.

При сборке под сварку необходимо контролировать:

- нормативные расстояния между заводскими продольными швами свариваемых изделий;

- правильность сборки и крепления свариваемых изделий в центраторах;

- правильность (расположение и количество) установки прихваток и их качество;

- чистоту кромок и прилегающих к ним поверхностей;

величины технологического зазора в соединении;
величины смещения кромок (внутренних и наружных) собранных деталей;
длины, высоты прихваток и их расположение по периметру соединения;
несимметричности штуцера и отверстия в трубе;
геометрических (линейных) размеров узла, собранного под сварку.

Сварные соединения газопроводов, выполненные при строительстве, реконструкции и ремонте газопроводов, подлежат визуальному и измерительному контролю в объеме 100 %. Контролируемая зона сварного соединения должна включать сварной шов, а также примыкающие к нему участки основного металла и составлять не менее 20 мм в обе стороны от шва, но не менее толщины стенки свариваемой детали.

Для измерения формы и размеров сборочных элементов трубопровода и сварных соединений, а также поверхностных дефектов следует применять исправные, прошедшие метрологическую проверку, инструменты и приборы:

лупы измерительные по ГОСТ 25706—83;
угольники поверочные 90° лекальные по ГОСТ 3749—77;
штангенциркули по ГОСТ 166—89 и штангенрейсмасы по ГОСТ 164—90;
шаблоны, в т.ч. универсальные типа УШС.

Для измерения больших линейных размеров элементов или отклонений от формы и расположения поверхностей элементов следует применять штриховые меры длины по ГОСТ 427—75 и ГОСТ 7502—98 (стальные измерительные линейки, рулетки).

Для определения шероховатости рекомендуется применять образцы шероховатости (сравнения) по ГОСТ 9378—93.

Стыки, выполненные дуговой сваркой, очищаются от шлака и подвергаются внешнему осмотру. При этом они не должны иметь трещин, подрезов глубиной более 0,5 мм, недопустимых смещений кромок, кратеров и выходящих на поверхность пор. Усиление шва должно быть высотой в пределах от 1 до 3 мм и иметь плавный переход к основному металлу.

Стыки, выполненные стыковой сваркой оплавлением, после снятия внутреннего и наружного грата должны иметь усиление высотой не более 3 мм. При снятии внутреннего и наружного грата не допускается уменьшение толщины стенки трубы.

Смещение кромок после сварки не должно превышать 25 % толщины стенки, но не более 3 мм. Допускаются местные смещения на 20 % периметра стыка, величина которых не превышает 30 % толщины стенки, но не более 4 мм.

Свариваемые изделия, забракованные при визуальном и измерительном контроле, подлежат ремонту.

Собранные под сварку соединения, забракованные при контроле, подлежат расстыковке с последующей повторной сборкой после устранения причин, вызвавших их первоначальную некачественную сборку.

Сварные соединения газопроводов, признанные годными по результатам визуального и измерительного контроля, подлежат неразрушающему контролю физическими методами.

Монтажные сварные стыки трубопроводов и их участков всех категорий, выполненные дуговой сваркой, подлежат контролю физическими методами в объеме 100 %, из них только радиографическим методом — сварные стыки:

участков трубопроводов категорий В и I во всех районах и независимо от диаметра;

трубопроводов диаметром 1020...1420 мм и их участков в районах Западной Сибири и Крайнего Севера;

участков трубопроводов на переходах через болота II и III типов во всех районах;

участков трубопроводов на переходах через железные и автомобильные дороги I, II и III категорий во всех районах;

трубопроводов на участках их надземных переходов, захлестов, свариваемых вставок и арматуры;

участков трубопроводов, указанных в позициях 6, 9, 10, 18, 20 и 23 табл. 3 СНиП 2.05.06—85*.

В остальных случаях монтажные сварные стыки трубопроводов и их участков подлежат контролю для категорий II, III и IV радиографическим методом в объеме соответственно не менее 25, 10 и 5 %, а остальные сварные стыки — ультразвуковым или магнитографическим методом.

Угловые сварные стыки трубопроводов подлежат контролю ультразвуковым методом в объеме 100 %.

Сварные соединения трубопроводов I, II, III, IV категорий, выполненные стыковой сваркой оплавлением, подвергаются полному контролю физическими методами по зарегистрированным параметрам процесса сварки, а также механическим испытаниям в объеме 1 % стыков.

Наиболее распространенным методом контроля сварных соединений остается *радиографический контроль*.

Радиографическая дефектоскопия позволяет получить на радиографическом снимке видимое изображение просвечиваемого объекта (рис. 9).

Метод основан на взаимодействии ионизирующего излучения с объектом и преобразовании радиационного изображения в радиографический снимок или запись этого изображения на запоминающем устройстве с последующим преобразованием в световое изображение. Проникающие излучения (рентгеновские, поток нейтронов, гамма и бетта лучи), проходя через объект и взаимодействуя с атомом его материала, несут различную информацию о внутреннем строении и наличии скрытых дефектов.

Под действием излучения на пленке образуется скрытое изображение, которое становится видимым после фотообработки в проявителе и закрепителе.

Радиографический контроль применяют для выявления в сварных соединениях трещин, непроваров, пор, шлаковых, вольфрамовых, окисных и других включений, а также для выявления прожогов, подрезов, оценки величины выпуклости и вогнутости корня шва, недопустимых для внешнего осмотра.

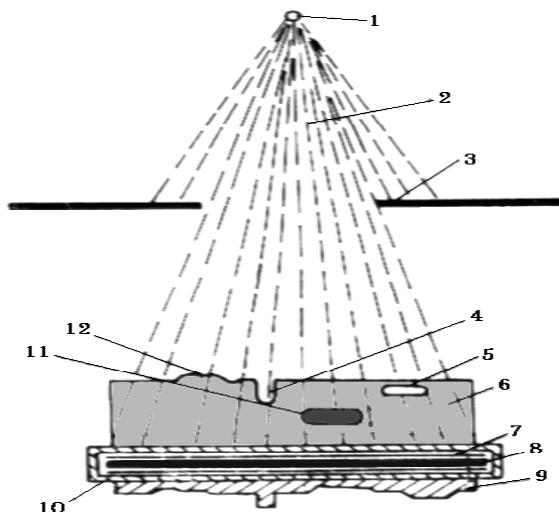


Рис. 9. Принцип действия радиографического метода:

1 — источник излучения; 2 — поток излучения; 3 — диафрагма; 4 — впадина на поверхности; 5 — пора; 6 — контролируемая деталь; 7 — усиливающие экраны; 8 — пленка; 9 — эюра интенсивности; 10 — кассета; 11 — включение плотнее основного металла; 12 — утолщение

При радиографическом контроле не выявляют: любые несплошности и включения с размером в направлении просвечивания менее удвоенной чувствительности контроля; непровары и трещины, плоскость раскрытия которых не совпадает с направлением просвечивания и (или) величина раскрытия менее значений, приведенных в табл. 1; любые несплошности и включения, если их изображения на снимках совпадают с изображениями посторонних деталей, острых углов или резких перепадов трещин просвечиваемого металла.

Таблица 1. Выявляемость дефектов радиографическим методом

Радиационная толщина (по ГОСТ 24034—80), мм	Раскрытие непровара (трещины)
До 40	0,1
Свыше 40 до 100 включительно	0,2
« 100 « 150 «	0,3
« 150 « 200 «	0,4
« 200	0,5

Классическим радиографическим методом контроля качества сварных стыков является контроль через две стенки. В этом случае не удастся получить панорамного снимка стенок трубы, и контроль стыка приходится выполнять по секторам. Рентгеновская пленка помещается на поверхность диагностируемого сектора трубы, а источник рентгеновского излучения размещается у стенки трубы, ему противоположной. Таким образом получается снимок сектора стыка через две стенки (рис. 10).

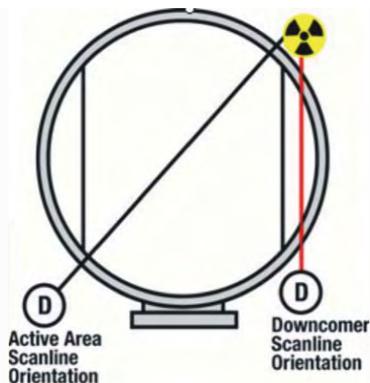


Рис. 10. Схема радиографического контроля через две стенки

Радиографическому контролю подвергают сварные соединения с отношением радиационной толщины наплавленного металла шва к общей радиационной толщине не менее 0,2 мм, имеющие двусторонний доступ, обеспечивающий возможность установки кассеты с радиографической пленкой и источника излучения в соответствии с требованиями стандарта.

При радиографическом контроле применяют источники ионизирующих излучений, предусмотренные ГОСТ 20426—82. Наиболее распространенными приборами являются рентгеновские аппараты и гамма-дефектоскопы. Рентгеновские лучи являются разновидностью электромагнитных колебаний и имеют длину волн $6 \cdot 10^{-13} \dots 10^{-9}$ м с частотой излучения $0,5 \cdot 10^{21} \dots 3 \cdot 10^{17}$ Гц. При этом источником получения рентгеновских лучей является рентгеновская труба, имеющая баллон с двумя электродами — анодом и катодом. Гамма-лучи по своей природе подобны рентгеновским и образуются в результате энергетических изменений внутри ядра атома в искусственных и естественных радиоактивных веществах. Источник для проведения контроля выбирают с учетом конкретных условий.

Для проведения неразрушающего контроля качества сварных соединений в трубопроводном строительстве службы контроля (ПИЛ) или строительно-монтажные лаборатории (СМЛ) для осуществления радиографического контроля оснащены в основном аппаратами рентгеновскими импульсными портативными Мира-2Д (ЗД), АРИНА-1 (2,05) и аналогичными скомпонованными в передвижных лабораториях на базе автомобилей высокой проходимости.

Основным достоинством аппарата АРИНА-1 является отсутствие внешних источников питания. Аппарат питается от малогабаритного встроенного аккумулятора, емкости которого достаточно для непрерывной работы аппарата в течение 30...40 минут. Малые габариты и вес позволяют установить рентгеновский блок в любом положении снаружи трубы, а с помощью простых приспособлений и внутри ее.

АРИНА-05 является самым мощным рентгеновским дефектоскопом в ряду импульсных аппаратов серии АРИНА. Благодаря большой жесткости излучения в импульсе, а также повышенной средней мощности, он обеспечивает радиационный контроль стальных изделий толщиной до 40 мм, а при использовании высокочувствительной пленки типа D8, РТ-1 в комбинации с флуоресцентными усиливающими экранами типа RCF, ВП-1 и другими — до 80 мм.

Учитывая необходимость в повышении производительности, качества и достоверности выполнения работ по радиографическому контролю сварных соединений в полевых, монтажных условиях фирмой Северо-западные технологии (СПб) разработан и прошел испытания рентгеновский переносной дефектоскоп РПД-200 (мини) (рис. 11) со стабилизированным постоянным высоким анодным напряжением 120...180 кВ (200 кВ).



Рис. 11. Общий вид аппарата РПД-200 (мини)

Разработанный рентгеновский аппарат принципиально отличается от используемых в настоящее время импульсных рентгеновских аппаратов (типа АРИНА, САРМА, ШМЕЛЬ) постоянным спектром излучения, обеспечивающим получение качественных рентгеновских снимков на толщинах металла до 38 мм (с флуоресцентными экранами до 60 мм), что особенно актуально при контроле газопроводов с диаметрами 1020...1420 мм и толщиной стенки до 24,5 мм, причем моноблок РПД—200 может изготавливаться с панорамным выходом излучения.

Гамма-дефектоскопы «Гамма-РИД-20», «Гамма-РИД-21», «Гамма-РИД-25», «Гамма-РИД-27», «Газпром», «Магистраль», «Трасса» позволяют контролировать трубопроводы со значительной толщиной стенки (более 18 мм), причем их эксплуатация несравненно дешевле рентгеновских.

Автоматизированная система радиографического контроля сварных стыков использует рентгеновскую трубку с постоянным потенциалом или гамма-головку, смонтированную на кроулере, перемещающемся внутри трубы (рис. 12).

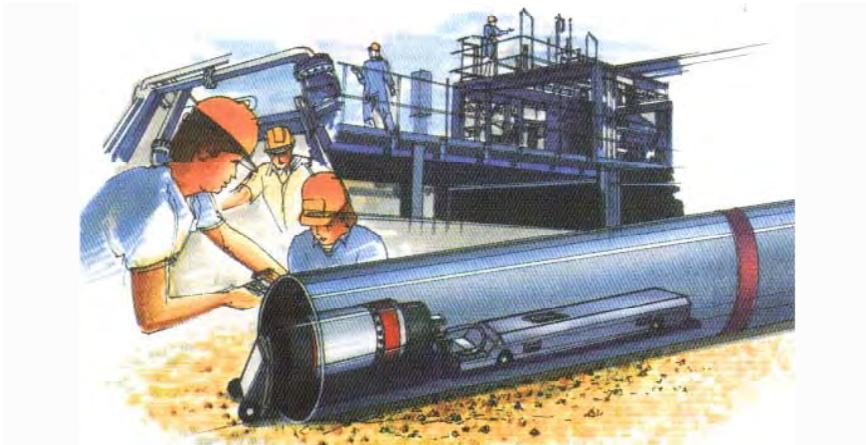


Рис. 12. Автоматизированная система радиографического контроля

Кроулер обеспечивает доставку источника излучения точно по центру трубы и панорамное просвечивание шва. Для позиционирования кроулера в точку съемки используется изотопный или магнитный «маяк», устанавливаемый на контролируемый стык снаружи. Панорамный снимок, сделанный с помощью рентгеновской трубки с постоянным потенциалом, весьма нагляден и хорошо расшифровывается с помощью каталога эталонных изображений дефектов. Таким образом, развертка шва на рентгеновской пленке формируется за одну экспозицию.

Кроулеры способны обеспечивать выполнение высококачественных радиографических снимков стыковых поперечных сварных швов в плетях строящихся магистральных нефте- и газопроводов с диапазоном диаметров труб 135...1800 мм при температурах до -40°C . Оценка качества сварного соединения по результатам радиографического контроля производят в соответствии с требованиями разделов 7, 8 ГОСТ 7512 [32].

Радиометрическая дефектоскопия — метод получения информации о внутреннем состоянии контролируемого объекта, просвечиваемого ионизирующим излучением, и получения видимого динамического изображения внутреннего состояния просвечиваемой детали на детекторе. В качестве детектора применяются флуоресцентные экраны. Для усиления яркости изображения используют телетехнику. К положительным сторонам данного метода можно отнести обеспечение высокой производительности контроля. К недостаткам — более слабую чувствительность в сравнении с радиографическим методом [33].

Одним из перспективных является метод рентгеновской вычислительной томографии. Он решает обратную задачу интроскопии, когда по объемной информации измерения интенсивности излучения, прошедшего через контролируемый объект в различных направлениях, создается светотеневое объемное изображение структуры контролируемого слоя изделия на экране видеомонитора.

Сварные стыки считаются годными, если в них не обнаружены дефекты или если обнаруженные дефекты не превышают значений, приведенных в разделах 7, 8 ГОСТ 7512—82.

Результаты контроля фиксируют в сварочном журнале и оформляют в виде заключений установленной формы.

Условная запись дефектов и документальное оформление результатов контроля должны соответствовать ГОСТ 7512—82 (приложения 5 и 6).

Заключения по результатам радиографического контроля передаются производителю сварочно-монтажных работ. Копии заключений и соответствующие им рентгеновские снимки хранятся в службе контроля качества до сдачи объекта в эксплуатацию.

Ультразвуковой контроль позволяет во многих случаях отказаться от применения рентгеновского метода контроля, вредного для здоровья оператора, или значительно сократить его объем. Также немаловажный фактор — немедленное получение результатов контроля, в процессе обследования и возможность проведения оценки размеров дефектов.

Для угловых и нахлесточных сварных соединений ультразвуковой контроль в объеме 100 % является основным физическим методом контроля качества, а радиографический контроль — дублирующим в объеме 100 % (при возможности его проведения).

Дублирующий ультразвуковой контроль при радиографическом контроле проводится на наиболее худших по внешнему виду кольцевых сварных соединениях и для уточнения результатов радиографического контроля. Дублирующий контроль должен проводиться периодически, по мере выполнения сварочных работ и проведения основного (радиографического) контроля.

При подготовке к ультразвуковому контролю околошовную зону стыкового сварного соединения по обе стороны от шва и по всей его длине очищают от пыли, грязи, окалины, застывших брызг металла, забоин и других неровностей. Чистота обработки поверхности околошовной зоны газопровода должна быть не хуже Rz 40, волнистость не должна превышать величину 0,015.

Наиболее эффективно осуществлять ультразвуковой контроль при помощи многоканальных автоматизированных установок.

Применение многоканальных дефектоскопов с фазированными решетками позволяет значительно уменьшить габариты и стоимость таких систем, увеличивает их гибкость и универсальность при контроле разного сортамента продукции. Таким образом обеспечивается условие получения проката высокого качества.

При использовании многоканального дефектоскопа ОКО-01 (в качестве основного звена механизированной системы) оператору необходимо лишь выбрать в меню тип сварного шва, установить сканер в его начало и нажать кнопку «Старт» (рис. 13). По завершении контроля необходимо только снять сканер с изделия после его остановки в конце сварного шва.



Рис. 13. Многоканальный ультразвуковой дефектоскоп ОКО-01

«Газпромстройинжиниринг» разработал конструкцию сканера-дефектоскопа «АВТОКОН-МГТУ», не имеющего аналогов, предназначенного, в первую очередь, для контроля сварных соединений труб на стадии строительства и капитального ремонта (рис. 14).

Этот уникальный прибор позволяет обеспечить полный контроль заводских швов и с вероятностью в 97 % обнаружить в нем потенциально опасные дефекты, которые могут вызвать его разрушение, в т. ч. и труб с заводским покрытием [32].



Рис. 14. Сканер «АВТОКОН-МГТУ»

К высокоэффективным методам ультразвукового контроля относят метод ультразвуковой томографии. Он позволяет получить на видеомониторе поперечное сечение контролируемого объекта с указанием места расположения дефекта и его координаты.

Идентификацию выявленных дефектов производят в соответствии с ГОСТ 14782—76. Сварные стыки по результатам ручного ультразвукового контроля считают годными, если в них не обнаружены недопустимые дефекты (не соответствующие нормам).

Результаты контроля фиксируют в журнале контроля и оформляют в виде заключений установленной формы. К заключению должна быть приложена схема проконтролированного соединения с указанием на ней мест расположения выявленных дефектов (дефектограмма), соответствующие эхограммы обнаруженных дефектов и настроек. Заключения по результатам ультразвукового контроля передаются производителю сварочно-монтажных работ. Копии заключений и соответствующие им дефектограммы хранятся в службе контроля качества до сдачи объекта в эксплуатацию.

Контроль *капиллярными методами* проводят после проведения визуального и измерительного контроля по требованию НД в соответствии с технологической картой контроля, утвержденной руководством организации.

Сущность капиллярного контроля заключается в нанесении на предварительно подготовленную и очищенную поверхность слоя индикаторной жидкости (пенетранта).

Под воздействием капиллярных сил жидкость проникает в полости дефектов и задерживается в них. После чего на поверхность наносится проявляющий состав. Часть пенетранта, оставшаяся в полостях дефектов, извлекается проявителем за счет сорбционных сил, образуя на поверхности индикаторный след, ширина которого много больше ширины раскрытия дефекта (рис. 15).

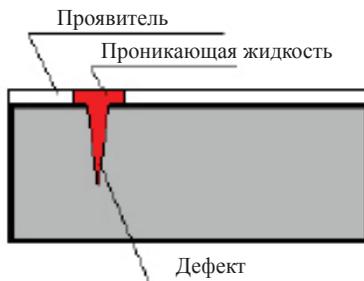


Рис. 15. Принцип действия капиллярного метода

В качестве проникающих веществ используют керосин, цветные, люминесцентные и радиоактивные жидкости, а также применяют метод избирательно фильтрующихся частиц.

Магнитопорошковый контроль проводят после выполнения визуального и измерительного контроля по требованию ПТД в соответствии с требованиями ГОСТ 21105—87 и технологической картой контроля, утвержденной руководством организации. Проведение магнитопорошкового контроля возможно для материалов с относительной ферромагнитной проницаемостью более 40.

Феррозондовый метод дефектоскопии применяют для всех видов швов, кроме швов, сваренных электродуговой сваркой под флюсом. Продольные дефекты выявляют при прохождении намагниченной трубы через вращающийся многоточечный измерительный прибор, а поперечные — через неподвижный [4].

Контроль стилоскопированием проводят с целью подтверждения соответствия марки металла деталей и сварного шва требованиям НД. При стилоскопировании руководствуются инструкцией по стилоскопированию основных и сварочных материалов.

Дефектные сварные швы, выявленные при контроле, должны быть удалены, швы вновь необходимо сварить и подвергнуть стилоскопированию. Правила отбора для определения химического состава сварных швов и наплавленных металлов установлены ГОСТ 7122—81. Эти правила включают в себя выбор места взятия пробы, зачистку, способ вырезания из шва, способ подготовки поверхности к проведению анализа.

Для выполнения оценки качества сварных соединений требуются следующие данные неразрушающего контроля (рис. 16) [13]:

высота дефекта — h ;

длина дефекта вдоль и/или поперек сварного шва (размеры l_e и/или l);

диаметр дефекта — d (в случае обнаружения пор);

глубина залегания дефекта — c ;

расстояние между близко расположенными дефектами — L ;

смещение кромок сварного соединения — Δ .

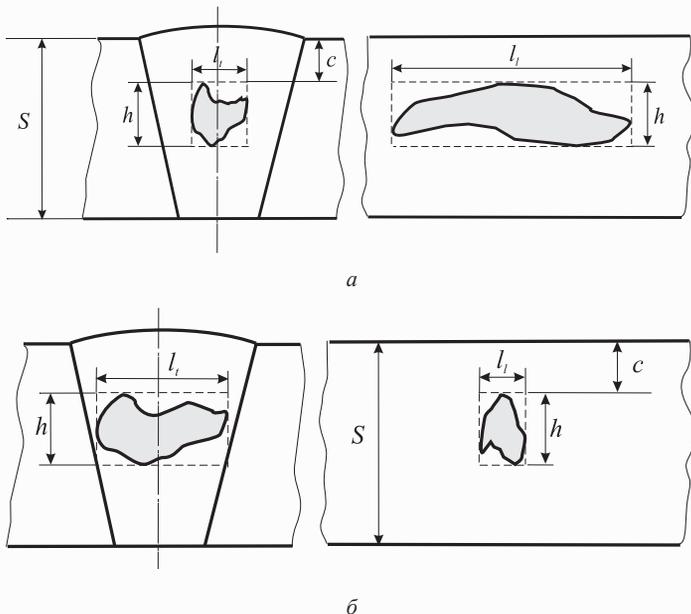


Рис. 16. Определение линейных размеров одиночных дефектов: а — протяженный в кольцевом направлении дефект; б — дефект, вытянутый в направлении оси трубы

На I этапе методами визуального, измерительного и неразрушающего контроля физическими методами определяют тип, размеры и расположение дефектов в кольцевых стыковых сварных соединениях газопроводов.

На II этапе выполняют схематизацию одиночных дефектов (рис. 16). Все обнаруженные дефекты-неплотности сварного соединения классифицируют на поверхностные и внутренние. Полученные дефекты заменяют расчетными дефектами-аналогами в виде поверхностных полуэллиптических трещин или внутренних эллиптических трещин, являющихся более опасным видом дефектов.

Поверхностные и внутренние дефекты с глубиной залегания менее 1 мм включительно схематизируют полуэллиптическими трещинами. Внутренние дефекты с глубиной залегания более 1 мм схематизируют эллиптическими трещинами. При схематизации внутренних дефектов с глубиной залегания менее 1 мм включительно к высоте исходного дефекта добавляют расстояние от границы дефекта до ближайшей поверхности трубы.

На III этапе выполняют схематизацию групповых дефектов (рис. 17), позволяющую учесть взаимное влияние близкорасположенных дефектов. Взаимодействующие дефекты объединяют в один расчетный дефект. Схематизацию групповых дефектов проводят последовательно согласно [13].

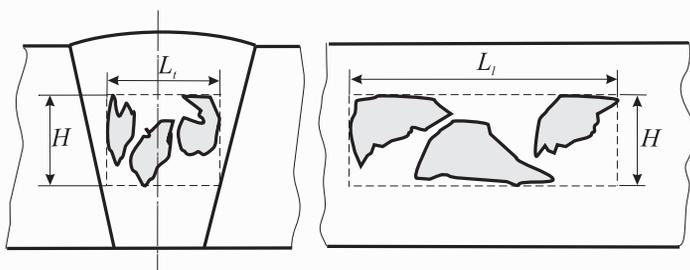


Рис. 17. Схема определения линейных размеров групповых дефектов

На IV этапе выполняют оценку допустимости схематизированных дефектов. Нормы оценки допустимости дефектов стыковых кольцевых сварных соединений действующих магистральных газопроводов установлены в зависимости от гарантированного предела текучести основного металла, вида и размеров дефекта.

Предельные значения для одиночных и групповых дефектов различных типов приведены в табл. 4...6 [13]. Указанные в таблицах значения получены по результатам расчетов остаточной прочности сварного соединения с дефектом. Обнаруженные дефекты считают допустимыми, если их размеры не превышают указанных в таблицах значений.

На V этапе по результатам оценки допустимости дефектов, выполненной на этапе IV, проводят оценку качества сварного соединения. Сварное соединение считают годным, если все обнаруженные в нем дефекты признаны допустимыми.

Если один или несколько дефектов сварного соединения признаны недопустимыми, сварное соединение подлежит ремонту или вырезке. Вырезке под-

лежат стыки с суммарной протяженностью недопустимых дефектов более 1/6 периметра стыка.

Разрушающие испытания позволяют оценить прямым путем показатели качества сварных изделий.

К *разрушающим испытаниям* относят:

- механические испытания;
- металлографический анализ;
- гидравлические или пневматические испытания и др.

Эти испытания, как правило, проводятся на выборочных натуральных образцах или на специальных изделиях (катушках), подготовленных для испытаний и изготовленных по стандартной технологии. По результатам испытаний оформляется протокол, где указываются их результаты.

При положительных результатах испытаний сварные швы маркируют и проверяют наличие и комплектность сопроводительной документации. К такой документации относят паспорт, в котором дается заключение о пригодности изделия к эксплуатации.

При отрицательных результатах составляется ведомость замечаний, в соответствии с которой производится доработка (ремонт) соединения и затем повторные испытания.

Определение механических свойств материала сварного соединения производят путем вырезания его из контролируемой конструкции или от специально сваренных для проведения испытаний контрольных образцов в соответствии с СНИП 112-04—2002 часть 2. ГОСТ 6996—91 и ГОСТ 6996—66 устанавливают методы отбора образцов, условия проведения испытаний и оценку их результатов при следующих видах испытаний:

испытании металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на статическое (кратковременное) растяжение;

испытании металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на ударный изгиб (на надрезанных образцах);

испытании металла различных участков сварного соединения на стойкость против механического старения;

измерении твердости различных участков сварного соединения и наплавленного металла;

испытании сварного соединения на статическое растяжение;

испытании сварного соединения на статический изгиб;

испытании сварного соединения на ударный разрыв.

Сущность методов состоит в высокотемпературной деформации металла в процессе сварки до образования трещин под действием внешних сил, создаваемых испытательной машиной (машинные методы), или под действием внутренних сил от усадки шва и формоизменения свариваемых элементов (технологические методы). Форму образцов и схему деформирования выбирают в зависимости от толщины основного металла, способа сварки, объекта испытания и ориентации трещин, которые необходимо воспроизвести при испы-

таниях. Металлографическому исследованию подвергают стыковые сварные соединения, определяющие прочность сосудов,

работающих под давлением более 5 МПа (50 кгс/см²) при температуре выше 450 °С или ниже –40 °С;

изготовленных из легированных сталей, склонных к подкалке при сварке (12ХМ, 15Х5М и др.), из сталей аустенитного класса без ферритной фазы (06ХН28МДТ, 08Х17Н16МЗТ и др.) и из двухслойных сталей.

Металлографические макро- и микроисследования проводят в соответствии с РД 24.200.04.

Испытание сварного соединения на сопротивление межкристаллитной коррозии проводится для изделий, изготовленных из сталей аустенитного, ферритного, аустенитно-ферритного классов и двухслойной стали с коррозионным слоем из указанных сталей согласно ГОСТ 26294—84 «Соединения сварные. Методы испытания на коррозионное растрескивание». Необходимость испытаний на стойкость против межкристаллитной коррозии сварных соединений указывается в проекте или другой НД.

Иногда дефекты сварки недопустимы по действующим строительным стандартам. Так как стандарты основаны в основном на критерии квалифицированного выполнения работ, эти недопущения не означают, что рассматриваемая секция трубы непригодна для дальнейшей эксплуатации.

Для определения критерия отбраковки для таких дефектов применяются законы механики разрушений и критерии пластических деформаций.

Перечень, порядок, объем и специальные виды испытаний сварных соединений в зависимости от условий эксплуатации определяют правила устройства и эксплуатации конкретных изделий и другая нормативная документация [13].

4.3. Контроль изоляционных покрытий

Пассивный метод защиты от коррозии предполагает создание непроницаемого барьера между металлом трубопровода и окружающим его грунтом. Это достигается нанесением на трубу специальных защитных покрытий [26].

Многие исследователи считают, что защитное покрытие трубопроводов имеет первостепенное значение для предотвращения коррозионного разрушения, т.к. подавляющее число коррозионных повреждений трубной стали наблюдается под поврежденной изоляцией или в непосредственной близости от места повреждения (отслоение покрытия, механическое повреждение и т.д.). Считается, что если удастся создать достаточно надежную изоляцию трубопровода, то проблема коррозии на магистральных трубопроводах будет решена.

Магистральные трубопроводы защищают покрытиями на основе полиэтилена (ПЭ) и поливинилхлорида (ПВХ), битумно-резиновых мастик (МБР), каучука, эмалей. Как правило, покрытие трубопроводов состоит из двух-трех слоев изоляционных материалов: праймера, изоляционного покрытия и обертки.

Требования к изоляционным покрытиям:

высокие диэлектрические свойства;

сплошность по всей длине сооружения;

хорошая адгезия (прилипаемость);
 влагонепроницаемость;
 эластичность при температуре хранения, строительства и эксплуатации;
 механическая прочность, способствующая удачной транспортировке и укладке;

химическая стойкость;
 долговечность.

Изнашивание покрытий происходит вследствие воздействия частиц грунта при укладке, засыпке трубопровода, а также его перемещений в траншее. При этом изменяется толщина покрытия, образуются разрывы, отслоения, порезы и задиры.

Основной причиной неудовлетворительного качества изоляционных покрытий является нарушение технологических режимов в процессе их изготовления и транспортировки, а также нарушение правил производства и технологии изоляционно-укладочных работ. Для получения нужного качества покрытия необходимо соблюдать нормативы и работ на всех этапах, начиная от очистки поверхности трубы и заканчивая укладкой изолированного трубопровода в траншею и засыпкой его грунтом. Структурная схема организации производственного контроля качества изоляционно-укладочных работ приведена на рис. 18.

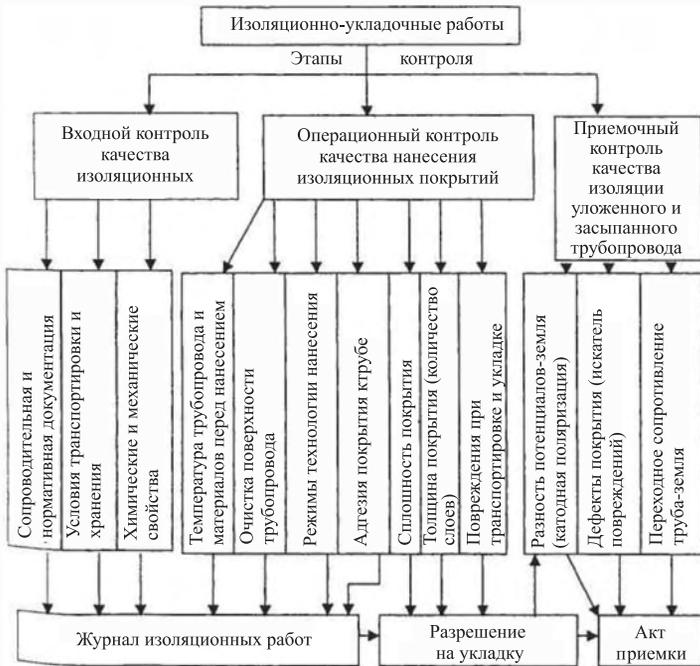


Рис. 18. Структурная схема организации производственного контроля качества изоляционно-укладочных работ

Контроль качества изоляционных покрытий трубопроводов проверяет подрядчик в присутствии представителя технадзора и заказчика по мере их нанесения, перед укладкой и после укладки трубопровода в траншею в соответствии с требованиями СНиП 12-04—2002 часть 2.

Контроль качества изоляционных работ включает в себя входной контроль поступающих на строительство материалов, а также послеоперационный контроль работ: степень очистки металла трубы; ее подогрев и осушка; качество нанесения грунтовки на поверхность трубы и нанесения изоляционного покрытия; проверка толщины и сплошности наносимого покрытия, адгезионной связи изоляционного покрытия с поверхностью трубы; качество изоляционного покрытия на законченном строительстве участках трубопровода (интегральная оценка качества изоляции методом контрольной поляризации); сплошность изоляционного покрытия электромагнитным методом, оценка биостойкости покрытий.

Для осуществления перечисленных операций разработаны специальные методики и имеются средства измерений и контроля.

Диагностику состояния изоляционных покрытий выполняют методами визуально-измерительного контроля (оценивают нахлест, отсутствие гофр, порезов, сдиров и т.п.), все выявленные дефекты отмечают на схеме и трубопроводе (мелом или краской) и устраняют.

Приборный ряд для неразрушающего контроля сплошности изоляции в полевых и заводских условиях в основном базируется на холидей-детекторах (рис. 19) и искровых дефектоскопах (рис. 20).



Рис. 19. Контроль сплошности покрытий с помощью холидей-детекторов



Рис. 20. Искровой дефектоскоп

Толщину контролируют с помощью магнитных толщинометров, например МТП-0,1 (рис. 21).

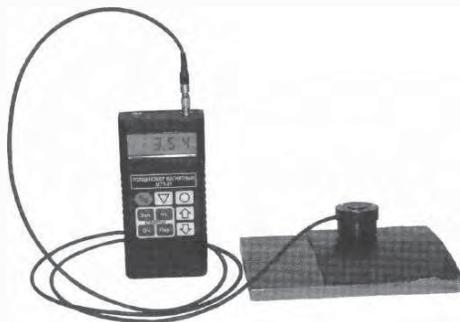


Рис. 21. Общий вид толщинометра МТП-0,1

Контроль прилипаемости изоляционного покрытия выполняют с помощью адгезиметров типа «безмен», либо электронных, путем вырезки сегмента и приложения тягового усилия до отслоения покрытия от трубы.

Биодеструкция покрытий обуславливается воздействием различных микроорганизмов, грибов и простейших в процессах, вызывающих биоповреждения изоляционных покрытий, а также мелких млекопитающих и корней растений.

Из практических наблюдений можно сделать выводы, что к наиболее активным представителям почвенной микрофлоры, способным повреждать защитные покрытия трубопроводов, относятся микроскопические грибы родов *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Chaetomium*, *Alternaria*, *Rhizopus*, *Candida*, *Stachybotris*, *Paecilomyces*, *Torulopsis*, *Sporotrichum*, а также актиномицеты, микобактерии, углеводородокисляющие микроорганизмы, сульфатвосстанавливающие бактерии (СВБ), денитрификаторы [35].

В нашей стране оценка биостойкости изоляции к воздействию плесневых грибов проводится по ГОСТ 9.048—75, где приводится перечень рекомендуемых тест-культур, питательных сред и других условий для проведения исследований. Аналогичного ГОСТа по воздействию бактерий на изоляцию не существует, хотя в окологрубном пространстве больше обнаруживается бактерий, чем микромицетов [36]. Оценка биостойкости материалов без учета его старения не позволяет уверенно прогнозировать стойкость материалов и покрытий в реальных условиях эксплуатации. Для такого учета можно использовать ГОСТ 9.024—74, определяющий сопротивление разрыву и растяжению при термическом старении полимеров. Для точной оценки изменения основных свойств вследствие старения, полимеризации или биодеструкции возможно вырезка образцов-темплетов для лабораторных исследований [33].

Контроль качества изоляции построенных участков выполняется методом катодной поляризации согласно «Инструкции по контролю состояния изоля-

ции законченных строительством участков трубопроводов катодной поляризацией» (М. ВНИИСТ 2005 г.), для чего к трубе подключают источник постоянного тока и по функции переходного сопротивления определяют состояние покрытия. В процессе испытаний учитывается изменение переходного электросопротивления системы изолированная поверхность/земля — параметра, имеющего тесную корреляцию с количеством и площадью дефектов в изоляционном покрытии.

Переходное сопротивление не должно быть менее $1 \cdot 10^3$ Ом·м² для эксплуатируемых и $1 \cdot 10^{10}$ для вновь построенных газопроводов. Состояние изоляции также оценивают как удовлетворительное, если смещение разности потенциалов на участке газопровода протяженностью более 4 км в конце меньше 0,48В и на участке протяженностью менее 4 км в начале менее 0,7В [36].

4.4. Контроль напряженно-деформированного состояния металла трубопровода

В процессе транспортировки, хранения, погрузочно-разгрузочных операций, укладки трубопровода и засыпки отдельные участки труб испытывают нагрузки, близкие к пределу текучести стали. При снятии нагрузки в поверхностном слое трубы остаются внутренние напряжения.

Причиной внутренних (остаточных) напряжений являются неодинаковые линейные или объемные деформации металла, существующие внутри конструкции (изделия) без приложения внешних усилий. Различия внутренних напряжений проявляются в характере их распределения по макро- и микрообъемам изделия, а также в конкретных факторах, приводящих к неоднородным деформациям.

К развитию напряженно-деформированного состояния (НДС) также приводит неравномерность расширения металла при сварке, образование дефектов размеров и формы (эллипсности, вмятин и т.п.), задиоров и рисок даже в пределах допустимых норм, коррозионные и эрозионные повреждения, трещинообразование и т.п.

Низкое качество изыскательских и проектных работ, например недооценка факторов взаимодействия трубопровода со средой (подвижки грунта, оползни, оттайка вечномёрзлого грунта) и другие ситуации, сопровождающиеся изменением пространственного положения трубопровода, также могут приводить к образованию зон повышенных напряжений и деформаций.

Предложено несколько видов классификации остаточных напряжений. Наиболее широко используется классификация Н.Н. Давиденкова, по которой существуют остаточные напряжения трех родов. Они различаются объемами, в которых эти напряжения уравниваются. Выделяются следующие напряжения:

1 рода — уравнивающиеся в макрообъеме, т.е. в объеме, соизмеримом с размерами изделия;

2 рода — уравнивающиеся в микрообъеме, соизмеримом с объемом одного или нескольких зерен;

3 рода — искажения кристаллической решетки, обусловленные полями деформаций, связанными как с точечными дефектами, так и с дислокациями.

Современные подходы к анализу состояния конструкции должны базироваться на возможности поэтапной оценки ее напряженно-деформированного состояния (НДС) с учетом начальных (остаточных) напряжений обозванных технологическими операциями изготовления и последующего наложения эксплуатационных термических и механических нагрузок.

Необходимо выделить ключевые положения, из которых состоит процесс оценки НДС любого объекта, в т.ч. магистральных трубопроводов:

идентификация (выявление) фактических действующих нагрузок;

натурные измерения физических параметров, связанных с деформациями и напряжениями в различных сечениях объекта (так называемые прямые измерения);

расчеты НДС объекта численными методами с учетом реального нагружения объекта;

принятие технических решений по ликвидации непроектных нагрузок (причина) и возможной замене отдельных элементов конструкции объекта (следствие).

Четвертое ключевое положение (принятие технических решений) по существу является целью проводимых работ по оценке НДС, а эффективность принятых решений напрямую зависит от объективности выводов первых трех.

Кроме того, теми же методами контролируется состояние объекта после устранения причины повышенных напряжений.

Для измерения остаточных напряжений в изделиях используются различные методы, которые имеют свои особенности и применяются в зависимости от задач, конфигурации изделия и его материала. Все методы контроля напряжений имеют свои преимущества и недостатки, например, механическими и химическими методами не определяются напряжения 2-го рода. Часто, исходя из необходимости получать более полную картину распределения напряжений или из специфических особенностей той или иной детали, целесообразно применять несколько методов, т.е. использовать комплексный подход.

Особенностью всех методов контроля и измерения остаточных напряжений является то, что с их помощью измеряют некоторые характеристики, зависящие от них, но не сами остаточные напряжения. Общепринята следующая классификация экспериментальных методов измерения и анализа остаточных напряжений: разрушающие, малоразрушающие, неразрушающие и косвенные методы.

Разрушающие методы основаны на предположении, что разрезка или удаление части детали с остаточными напряжениями эквивалентна приложению к оставшейся части детали на вновь появившихся поверхностях напряжений обратного знака, равных по абсолютной величине остаточным.

Как правило, разрушающие механические методы связаны с удалением части тела, в которой микронапряжения уравниваются. Поэтому эти мето-

ды в основном измеряют макронапряжения. **Механические методы** позволяют обнаруживать остаточные напряжения путем замера изменений размеров в оставшейся части тела после его рассечения. Метод разрезания основан на снятии остаточных напряжений в момент, когда тело разрезается на несколько полос небольшого поперечного сечения. При этом происходит снятие остаточных напряжений и эта часть изделия как бы «распрямляется». Зная упругое удлинение после освобождения элемента от связей, т. е. после разрезки, по закону Гука можно найти напряжения, которые были до разрезания. В настоящее время из механических методов наиболее широко используют методы разрезания, пропила, столбиков и сверления несквозных отверстий.

При **экспериментальных лабораторных исследованиях** чаще всего измеряют не остаточные напряжения, а некоторые характеристики геометрического изменения окрестности частиц. Для нахождения таких характеристик используются методы фотоупругости, муаровых полос, реализующих эффект оптических картин, сопровождающих любые изменения объекта на поверхности.

Для измерения деформаций в трассовых условиях наиболее эффективным является метод электротензометрии. После наклеивания моста из тензодатчиков исследуемый объект разрезается на полосы.

Металлографические исследования также относят к разрушающим методам. Для их выполнения вырезают образцы-темплеты, которые исследуют на изменение механических свойств с помощью методов испытаний на изгиб и деформацию и т.п., а также изучают химсостав переносными спектроанализаторами (ARC-MET-930). Так как при вырезке темплетов частично происходит снятие напряжений, данный метод может только косвенно установить уровень нагрузки и те изменения, которые были вызваны повышенным уровнем НДС.

Малоразрушающие методы основаны на использовании поверхностного слоя (припуска на механическую обработку) для сравнительного контроля остаточных напряжений путем выполнения на поверхности отверстий, пропилов, столбиков и контроля деформации в зоне разрушения.

Неразрушающие методы — рентгеновские и акустические (ультразвуковые).

Ультразвуковой метод (измеритель напряжений состояния Evrozet, дефектоскоп УД-2-12, приборы типа «АСТРОН», «Уренгой-4» и др., основанные на ультразвуковых методах) связан с использованием трех видов волн, возбуждаемых и принимаемых отдельными датчиками для измерения относительных временных задержек упругих импульсов. Недостатки данного метода — длительность процедур измерений и высокие требования к подготовке мест измерений.

При **рентгеновском методе** используются приборы типа X-STRESS фирмы «AST», «TRIM» (отечественная разработка), основанные на рентгенографических методах, связанных с прямыми измерениями деформации кристалличе-

ской решетки в тонком поверхностном слое металла. В основу рентгеновского метода положено явление дифракции рентгеновских волн на кристаллографических плоскостях. При наличии в материале напряжений длина ребра элементарной ячейки в кристаллической решетке изменяется в соответствии с упругими деформациями.

Измеряя величину характерного линейного размера в различных направлениях, можно определить упругие деформации материала. Для перехода от измеренных деформаций к напряжениям используют закон Гука. Собственно пластическая деформация в общем случае не оказывает влияния на межатомные расстояния. Поэтому рентгеновский метод используют также и при наличии остаточной пластической деформации.

Достоинство метода — высокая точность измерений. Недостатки — громоздкость приборов, необходимость снятия остаточных поверхностных напряжений (от зачистки) электрохимическими методами, длительность процедуры измерения.

Приборы этого типа могут служить в качестве экспертных для других, основанных на иных методах измерений, а также применяться при калибровке аппаратуры на базе других методов измерений при условии адаптации данных приборов и возможности проведения измерений на объектах трубопроводного транспорта. Кроме того, они могут предоставлять начальные значения напряжений («0» отсчет) для тензометрии.

Косвенные методы (иногда их называют сравнительными) составляют значительную группу неразрушающих методов, непосредственно не связанных с такими методами, как рентгеновский и ультразвуковой.

К косвенным методам относят:

Метод амплитудно-фазочастотных характеристик (прибор СИТОН-4 и др.), связанных с зависимостью удельной электрической проводимости металла в слое от средней величины остаточных напряжений в этом слое. Достоинства: может использоваться для любого токопроводящего материала (магнитные свойства не имеют значения), процедуры измерения и обработки автоматизированы, высокая мобильность и оперативность. Недостатки: зависимость точности измерений от качества контакта, вследствие чего существенные погрешности при высокочастотной вибрации.

Метод магнитной «памяти» металла (приборы ИНК-1М, ИМНМ-1Ф, МИТ-1 НПО «Энергодиагностика») основан на связи магнитного поля в металле с остаточными напряжениями.

Тензометрия — классический метод измерения относительных деформаций элементов конструкций как через измерение относительных сопротивлений в электрических мостовых схемах (тензорезисторы), так и через измерение собственных частот струнных тензодатчиков. К числу достоинств следует отнести высокую точность определения относительных деформаций и отработанность метода. Основные недостатки тензометрии: длительное время диа-

гностики, трудозатраты и тщательность подготовки к измерениям, в результатах измерений полностью отсекается история нагружения конструкции, предшествующая монтажу тензодатчиков, кроме того, данный метод может быть рекомендован только в сочетании с другими средствами измерений (приборы ЦТИ-1, Smd-10a).

Тензорезисторные преобразователи используются либо для измерения механических напряжений и деформаций, либо для измерения других механических величин — сил, давлений, ускорений и других, когда деформация является промежуточной величиной преобразования. При их использовании требуется точная градуировка на образцовых балках. Для тензорезисторных преобразователей рассчитывается их чувствительность

$$S = \frac{R - R_0 / R_0}{\varepsilon} \quad (1)$$

Определенное при градуировке значение S используется в качестве номинальной для всей партии, так как для партии тензорезисторов отклонения S от $S_{\text{ном}}$ не должны превышать 2...10 %.

Весьма существенной составляющей погрешности для тензорезисторных преобразователей является температура, которая изменяет как удельное сопротивление материала тензорезисторов (β_r), так и вызывает температурные деформации материала детали (β_d), на которую их наклеивают. При этом полное изменение сопротивления в такой конструкции из-за изменения температуры (Δt) будет

$$\Delta R_t = R_0 [\alpha + S(\beta_d - \beta_r)] \Delta t, \quad (2)$$

где R_0 — сопротивление тензорезистора при номинальной температуре; S — чувствительность; α — температурный коэффициент сопротивления тензорезистора; Δt — изменение температуры; β_r — удельное сопротивление материала тензорезисторов; β_d — коэффициент температурной деформации материала детали, на которую наклеивается тензорезистор.

Метод тензометрии универсален в области ранней диагностики газопроводов. Впервые его применили в 1976 г. При его реализации на выявленных потенциально опасных участках устанавливается требуемое для оценки напряженного состояния число тензорезисторов и проводятся измерения в режиме непрерывного мониторинга. При изменениях технологических режимов и других нештатных ситуациях оператор получает информацию по каналам телемеханики о показаниях тензодатчиков и может отслеживать уровень напряжений в режиме реального времени. Измерительная система тензометрирования может работать и в режиме автоматического опроса, при этом на пульт оператора поступает лишь тот сигнал, который фиксирует превышение допустимого уровня напряженного состояния.

Магнитно-шумовой метод основан на связи шумового сигнала с напряжениями в металле (приборы Пион 1, Стрескан-500, ИНИ-1А). США с начала 80-х гг. лидируют в исследованиях магнитно-шумовых методов (прибор «STRESSCAN», фирма «AST») (рис. 22).

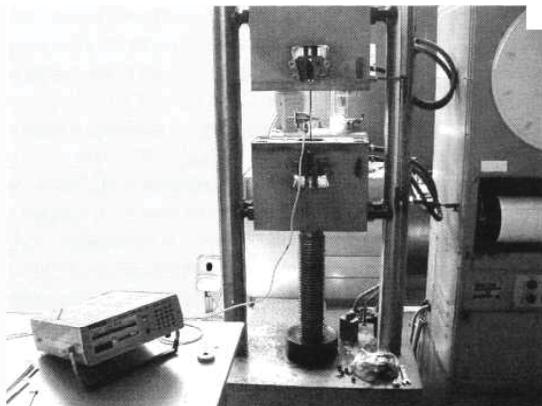


Рис. 22. Общий вид прибора «STRESSCAN» в процессе калибровки

Как известно, ферромагнитные материалы состоят из небольших областей, обладающих конечной намагниченностью, напоминают магниты продолговатой формы — домены. Каждый домен отделяется от других доменов стенкой. Внешние магнитные поля, приложенные к ферромагнитному материалу, заставляют стенки доменов перемещаться вперед и назад. Для того чтобы способствовать перемещению стенки, домен, находящийся с одной стороны стенки, должен увеличить свои размеры, в то время как домен, находящийся с другой стороны стенки, должен уменьшиться. В результате общая намагниченность испытуемого образца металла изменяется.

Если рядом с испытуемым образцом поместить индукционную катушку, то перемещение стенок доменов образца, приводящее к изменению общей намагниченности всего образца, в конечном счете, будет индуцировать в катушке электрический импульс. В результате сложения электрических импульсов, индуцируемых в катушке при изменении общей намагниченности тестируемой области ферромагнетика, вызванных перемещением стенок магнитных доменов, будет зарегистрирован шумоподобный сигнал Баркгаузена.

На интенсивность генерируемого шумового сигнала Баркгаузена могут влиять два основных параметра, характеризующих состояние материала:

наличие и характер распределения упругих внутренних напряжений, которые будут оказывать влияние на определение доменами оси «легкого» намагничивания, ориентирование доменов по отношению друг к другу;

металлургическая структура материала.

Совокупность упругих свойств материала в сочетании со структурой магнитных доменов и магнитными свойствами материала характеризуется магнитоупругим взаимодействием. В результате этого взаимодействия в материалах, имеющих положительную магнитную анизотропию (железо, различные типы стали, кобальт), сжимающее внутреннее напряжение уменьшает интенсивность шумового сигнала Баркгаузена, в то время как растягивающее внутреннее на-

пряжение увеличивает амплитуду шумового сигнала. Измерение амплитуды шумового сигнала, кроме того, позволяет определить направление распределения основных внутренних напряжений.

Достоинства: оперативность и относительная простота процедур измерений, невысокие требования к подготовке мест измерений. Недостатки: низкая чувствительность на материалах с высокой твердостью (углеродистые стали), сильная нелинейность характеристики при деформациях сжатия, значительная погрешность при низких уровнях напряжений.

Магнитоупругий метод (метод оценки коэрцитивной силы) основан на использовании магнитоупругого эффекта — изменении магнитных характеристик ферромагнитных материалов под действием механических напряжений, из-за которых происходит рост и разворот магнитных доменов — ферромагнетиков, что приводит к анизотропии магнитных свойств. В результате чего при намагничивании внешним магнитным полем происходит изменение вектора намагниченности по направлению и величине. Величина этого изменения (коэрцитивная сила) является информативным параметром электромагнитного метода измерения механических напряжений. Для проведения измерений коэрцитивной силы используют коэрцитиметр КРМ-ЦК-2М. Прибор выпускается фирмой «Специальные научные разработки» совместно с МНПО «Спектр» (г. Москва) и зарегистрирован в Реестре системы сертификации средств измерений (рис. 23).



Рис. 23. Прибор КРМ-ЦК-2М

Достоинствами этого метода и измерительной аппаратуры являются: высокая скорость и простота измерения; удобство использования в полевых условиях (портативность, автономность питания и т.д.);

относительно невысокая стоимость коэрцитиметров; возможность измерения H_c на неподготовленной поверхности, в том числе через слой покрытия; температурная стабильность показаний измерения.

Наличие связи между величиной механических напряжений и значениями коэрцитивной силы при растяжении плоских металлических образцов показано в работах [27].

Институтом «ДИМЕНСтест» разработан электромагнитный сканер-дефектоскоп «Комплекс-2.05» (<http://complex205.narod.ru/>). В процессе разработки были учтены вышеназванные недостатки методологии обеспечения безопасности объектов и принципиальные ограничения, свойственные общепринятым средствам дефектоскопии и диагностики напряжений [24,32].

Для оценки НДС в работе сканера используется эффект магнитной анизотропии ферромагнитных материалов, позволяющий выявлять аномалии механических напряжений не только в поверхностном слое, но и в глубинных слоях металла конструкции. Сканер-дефектоскоп позволяет выявить и количественно оценить опасность коэффициента механических напряжений (КМН), коэффициента неоднородности напряжений (КНН), распределения коэффициентов концентрации механических напряжений (ККМН) и градиентов разности главных механических напряжений (РГМН), зон с остаточными пластическими деформациями и сварочными (термическими) напряжениями в инженерных конструкциях из низколегированной или низкоуглеродистой стали. Поскольку результат контроля выдается в виде карт распределения ККМН, КНН, РГМН и градиентов РГМН, здесь полностью исключаются вышеупомянутые погрешности модельных представлений о работе материала, расчетных схем, вычислений и пр. ККМН (и др.) сразу и количественно указывает на степень опасности каждой точки обследованного участка. Результат контроля представляется в виде карт на дисплее ПЭВМ (ноутбука), входящего в состав аппаратно-программного комплекса, заносится в базу данных с комментариями оператора.

Метод твердомерии (переносными твердомерами МС-10, ТЭМП-1, УИТ-2М, «54-359М» ГНЦ «ЦНИИТМАШ» и АО «Константа») основан на взаимосвязи изменения твердости материала от уровня напряжений [48].

Полученные данные измерений накладываются на расчетные схемы нагрузок с учетом геодезических измерений пространственного положения МГ и выполняется проверочный расчет на прочность.

4.5. Оценка состояния трубопровода

Расчетные нагрузки и воздействия на конструкцию трубопровода регламентируются СНиПами. В зависимости от выбранной конструктивной схемы и способа прокладки трубопровода следует учитывать следующие группы нагрузок и воздействий.

Общую задачу статистической динамики трубопровода предлагается представить из двух частных, из которых первая сводится к определению вероятностных законов распределения внутренних силовых факторов для участка конструкции. Вторая задача решается на уровне отдельных частей этого участка конструкции трубопровода, где внешним воздействием являются уже внутренние силовые факторы, вероятностные характеристики которых получены при решении первой задачи.

Нагрузки для подземных частей трубопроводов: внутреннее давление перекачиваемого продукта; температурные нагрузки, вызванные несовпадением

эксплуатационной температуры стенок трубопровода и температуры замыкания конструкции при монтаже; нагрузки, вызывающие искривление продольной оси трубопровода; нагрузки от грунта засыпки.

Нагрузки для надземных трубопроводов, проложенных на свайном основании: внутреннее давление перекачиваемого продукта; нагрузки от массы конструкции и транспортируемого продукта с учетом режимов эксплуатации; дополнительные массовые нагрузки от размещенного оборудования и строительных конструкций; нагрузки, вызванные обледенением и налипанием снега; температурные нагрузки, вызванные несовпадением условий эксплуатации и монтажа; ветровые нагрузки.

Нагрузки при нестандартных условиях, вызванных следующими особенностями трассы трубопровода: заболоченные и подтопленные территории; территории с подповерхностными пустотами различного происхождения (шахты, карстовые пустоты); сейсмоопасные зоны; зоны вечномёрзлых грунтов; оползневые зоны.

Поскольку в общей постановке аналитическое решение задачи статистической динамики для газопровода оказывается невозможным, используется **численный метод статистических испытаний** (метод Монте-Карло).

При этом каждая реализация воздействия на трубопровод получается с учетом взаимного влияния и сочетаемости нагрузок и воздействий различного происхождения. Для каждой реализации нагрузок и воздействий определяется НДС в опасных сечениях трубопровода.

Обработка полученных данных проводится общепринятыми статистическими методами. Расчеты показывают, что для достоверного определения моментных характеристик до четвертого порядка включительно достаточно шестисот реализаций.

Оценка состояния трубопровода с точки зрения прочности производится по следующим критериям: по запасам прочности (согласно нормативной документации); несущей способности (согласно нормативной документации); моделям упруго-пластического или хрупкого разрушения и по экспериментальным данным, полученным на макро- и микрообразцах.

Минимальный состав расчетно-измерительного комплекса (РИК) включает:

- общие исходные данные (сбор и анализ);
- геодезические измерения (нивелирование) в контрольных точках, возможно использование результатов паспортизации;
- прямые измерения деформаций или напряжений в минимально допустимом количестве контрольных точек;
- расчеты НДС с помощью программных средств;
- моделирование вариантов реконструкции для ее оптимизации и повышения эффективности.

При диагностическом обследовании с помощью РИК в номинальном составе должен выполняться объем работ в следующей последовательности:

- первичный сбор имеющихся данных по проектной и исполнительной документации;

составление чертежей трубопроводов;

проведение геодезических измерений в полном объеме и в контрольных шурфах, в ряде случаев после предварительного анализа результатов измерений возможно проведение вскрышных земляных работ с полной геодезической съемкой подземных газопроводов;

проведение прямых измерений деформаций и напряжений в контрольных точках по верхним образующим трубы. При получении явно завышенных показаний прибора проводят замеры в окрестностях контрольной точки, а также со стороны нижней образующей трубы (в диаметрально противоположной точке);

предварительный расчет НДС проектного положения трубопровода с помощью программного пакета «COSMOS/M» или других программных продуктов;

анализ результатов геодезических измерений с целью определения фактического отклонения МГ от проектного положения;

сравнение результатов нивелирования с исполнительной документацией;

расчет НДС с кинематическим нагружением, которое задано в перемещениях отклонений от проектного или начального положения на основе результатов анализа геодезических измерений;

сравнительный анализ измеренных и расчетных перемещений, корректировка расчетной схемы в граничных условиях и повторный расчет НДС при тех же нагрузках;

совместный перекрестный анализ результатов прямых измерений деформаций и напряжений и расчетных напряжений при одновременном уточнении и корректировке факторов кинематического нагружения;

расчет номинальных и допустимых значений напряжений для данных параметров трубопроводов (диаметры, толщины стенок, физико-механические свойства) при номинальных рабочих давлениях и температурных перепадах в соответствии с нормативными документами (СНиП 2.05.06—85*);

окончательные выводы по объективной оценке НДС трубопровода, сравнение полученных результатов с допустимыми значениями, анализ и выявление причин повышенного уровня напряженного состояния;

выявление причин невозможности эксплуатации МГ;

дефектоскопия участков трубопровода с повышенными уровнями НДС;

многовариантная проработка способов снижения НДС или обеспечения нормальной эксплуатации трубопровода методами численного моделирования конструктивных решений с помощью программных средств COSMOS/M или других аналогичных программных продуктов;

выбор конструктивных оптимальных решений и на их основе разработка практических рекомендаций.

Прочностной анализ можно также производить на основе расчетов НДС трубопроводов с помощью метода конечных элементов (МКЭ) посредством программных МКЭ-комплексов (Alfargus, ANSYS, ABAQUS, NASTRAN, COSMOS/M, LS-DYNA3D) (рис. 24). Он применим для оценки прочности газопроводов, нефтепроводов, водопроводов и т.д. [5].

Прочностной анализ включает в себя следующие основные этапы:
расчеты НДС участков трубопроводов по балочным конечно-элементным моделям с учетом всех силовых факторов, действующих на трубопровод в процессе эксплуатации;

выявление наиболее нагруженных участков трубопроводной конструкции;

определение сил и моментов, действующих на границах участков;

ранжирование опасных участков трубопровода на основе их НДС, расположения дефектов стенок труб, близости к населенным пунктам и промышленным объектам (с учетом размеров зон поражения при аварии);

уточненный расчет НДС опасных участков с использованием оболочечных и объемных конечно-элементных моделей;

анализ несущей способности опасных участков трубопровода на основе критериев теории прочности и разрушения.

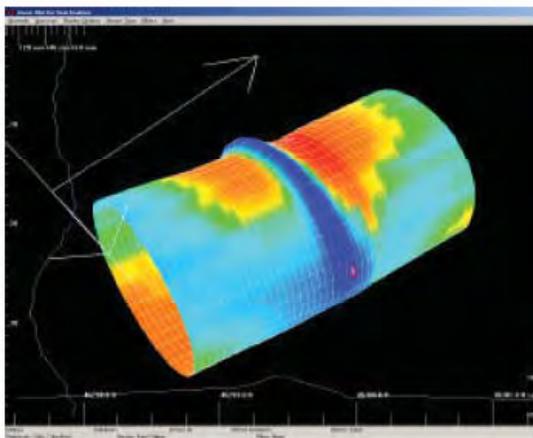


Рис. 24. Модель участка с деформацией в программном МКЭ-комплексе

По результатам прочностных расчетов и математического моделирования различных сценариев аварий делается оценка состояния трубопровода, анализируется риск и дается заключение о безопасности его эксплуатации. Затем принимается решение о ранжировании участков трубопроводов с точки зрения замены и ремонта. Данная задача, как правило, решается методами математической оптимизации.

Контрольные вопросы

1. Какие показатели качества приводятся в заводских сертификатах и маркировке?
2. С какой целью проводят контроль механических свойств трубной стали?
3. Какие средства применяют при визуально-измерительном контроле внешней и внутренней поверхности труб?

4. Какие преимущества имеет применение вихретоковых автоматизированных дефектоскопов при входном контроле труб?
5. Какие методы применяют при контроле сварных соединений?
6. Какие преимущества имеет метод радиографического контроля и его приборная реализация?
7. Какие дефекты являются недопустимыми при контроле сварных соединений трубопроводов?
8. Какие операции входят во входной контроль качества изоляционных материалов?
9. Какие требования предъявляют к изоляционным покрытиям?
10. Каким способом контролируют адгезию покрытий?
11. Какие приборы используют для контроля сплошности изоляционных покрытий?
12. По каким показателям выполняется оценка состояния изоляции законченных строительством участков трубопроводов?
13. Какие причины вызывают возникновение остаточных напряжений в металле трубопровода?
14. Какие методы оценки и измерения напряжений относят к разрушающим?
15. Какой принцип положен в основу магнито-шумового метода оценки напряжений?
16. В какой последовательности выполняются расчет и оценка напряжений с использованием расчетного комплекса?

5. ИСПЫТАНИЕ И ПРИЕМКА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ЗАКОНЧЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВОМ ТРУБОПРОВОДА

Испытание на прочность и герметичность проводят в соответствии с ВСН 011—88. Для испытания трубопровод делят на участки, протяженность которых ограничена с учетом разности высотных отметок по трассе и испытательных давлений по проекту. ВСН 011—88 рекомендуют параметры испытания на прочность участка в зависимости от категорий и назначения.

Рекомендуют этапы испытания (после укладки, либо одновременно с технологическим потоком и др.).

Указывают давление в верхней точке и продолжительности в часах.

Испытания могут осуществляться следующими способами: гидравлический (вода); пневматический (воздух или природный газ); комбинированный (воздух + вода; газ + вода).

С точки зрения безопасности наиболее применим гидравлический способ испытаний.

Испытание на прочность и герметичность проводят после полной готовности участка или всего трубопровода.

Способы испытаний выбираются в зависимости от местных условий в соответствии с нормативными документами. Для испытаний составляются схемы проведения, где указываются расстановка машин и механизмов, места забора и слива воды, согласованные с заинтересованными организациями, а также пункты подачи газа, установленные рабочим проектом.

Проверку на прочность осуществляют под повышенным давлением, выбираемым в зависимости от категории трубопровода (от 1,1 до 1,5 от рабочего). Трубопровод считается выдержанным испытание на прочность, если за время испытания труба не разрушилась. Испытание на прочность выявляет и ликвидирует все критические при данном испытательном давлении дефекты.

Самым высоким испытательным давлением испытывают газопроводы методом стресс-теста. Его регламентирует «Инструкция по проведению гидравлических испытаний трубопроводов повышенным давлением (методом стресс-теста)» [37].

Проверку на герметичность проводят после испытания на прочность и снижения испытательного давления до проектного рабочего в течение времени, необходимого на осмотр трассы, но не менее 12-ти часов. Если давление осталось неизменным и нет утечек, трубопровод считается выдержавшим испытания.

При разрывах, обнаруженных утечках визуально или с помощью приборов, участок трубопровода подлежит ремонту и повторному испытанию на прочность и герметичность.

5.1. Гидравлическое испытание газопровода

Гидравлическое испытание газопровода повышенным давлением с последующим комплексным обследованием — другая схема диагностики его состояния перед приемкой в эксплуатацию. Испытанию подвергают все построенные участки.

Для проведения гидравлического испытания в зимнее время применяют незамерзающие жидкости (тосол).

Состав основных работ по гидравлическому испытанию:

подготовка к испытанию (отключение участка от смежных линейной арматурой, монтаж узлов пуска и приема поршней, установка контрольно-измерительных приборов, сливные или воздухопускные краны);

наполнение трубопровода водой (удаляют из трубопровода воздух с помощью поршней-разделителей или 2—3-х воздухопускных кранов, установленных на концах участка);

подъем давления до испытательного (максимально возможного по техническим характеристикам наполнительного агрегата, а далее опрессовочными агрегатами до давления испытания);

испытание на прочность;

сброс давления до проектного (рабочего);

проверка на герметичность.

Для трубопроводов, уложенных в грунт, одной из сложных задач при испытаниях является выявление и визуализация мест утечек.

5.2. Способы обнаружения утечек при различных испытаниях трубопроводов

Способы обнаружения утечек при испытании разделяют на активные, связанные с воздействием на трубопровод, либо окружающую среду, и пассивные, выявляющие утечку по изменению каких-либо характеристик, косвенно с ней связанных.

К **пассивным методам** относят:

Визуальный — изменения цвета почвы, снега, рельефа, растительности [38].

При визуальном контроле охранной зоны опытный оператор по косвенным признакам в состоянии обнаружить место утечки, но это возможно только при достаточно мощных и долговременных утечках. Вероятность и чувствительность обнаружения можно повысить путем применения телевизионной аппаратуры с последующей компьютерной обработкой и накоплением информации для выявления характерных дефектов и признаков их развития во времени. В этих случаях телевизионное изображение используется как своеобразный планшет для наложения на него информации, полученной другими способами.

Фотометрический метод основывается на анализе спектральных составляющих почв, меняющихся при наличии утечек (например, спектрофотометром СФ18, сканером МСУВ, из космоса и воздуха). Современным средством фотометрии является многоспектральное сканирующее устройство высокого разрешения (МСУВ). Аппаратура представляет собой мультиспектральный сканирующий радиометр, позволяющий получать многоспектральные пространственно совмещенные изображения земной поверхности в восьми спектральных зонах диапазона 0,45...12,5 мкм [39].

Тепловизуальный (ИК-радиометрия). При использовании этого метода дистанционное обнаружение утечки основано на визуализации или установлении температурной аномалии почвы над местом свища. Градиент температуры возникает за счет локального охлаждения почвы струей истекающего газа. В свою очередь, газ охлаждается в результате эффекта Джоуля-Томсона при его дросселировании [40]. Это явление позволяет, кроме того, с помощью тепловизионной или ИК-радиометрической техники производить картографирование и селективно информацию об утечках, полученную другими методами, осуществлять пространственную привязку координат утечки.

Принцип действия сканирующего тепловизора при обнаружении температурной аномалии, вызванной утечкой из трубопровода, показан на рис. 25.

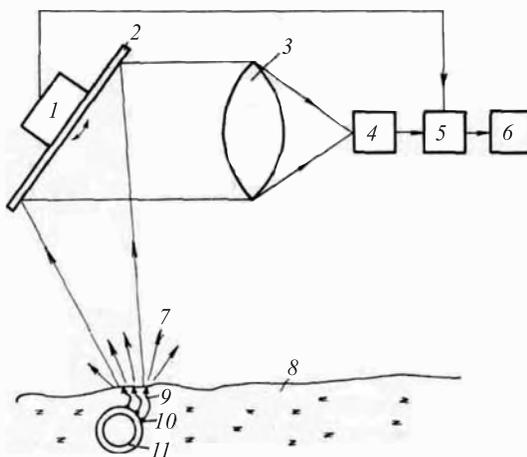


Рис. 25. Структурная схема сканирующего тепловизора:

- 1 — сканер; 2 — поворотное зеркало; 3 — объектив; 4 — ИК-фотоприемник;
- 5 — устройство фотообработки; 6 — видеомонитор; 7 — тепловое излучение;
- 8 — земная поверхность; 9 — охлажденный газ; 10 — свищ; 11 — труба газопровода

С помощью сканера 1 производится качание поворотного зеркала 2 в плоскости, ортогональной курсу носителя. Радиационная составляющая 7 теплового излучения земной поверхности 8, отражаясь от зеркала 2, фокусируется объективом 3 на ИК-фотоприемнике 4. Сигнал фотоприемника поступает на устройство обработки 5, куда одновременно подаются сигналы синхронизации строк со сканера 1. В устройстве обработки 5 происходит формирование телевизионного сигнала путем выделения сигналов строк, согласованных со скоростью носителя [23].

Согласование производится либо путем счисления по скорости носителя, либо путем отбрасывания полностью коррелированных сигналов. Стандартный телевизионный сигнал поступает на видеомонитор 6. Для документирования может быть использована любая система записи телевизионного сигнала.

Истечение охлажденного газа 9 из свища 10 на трубе газопровода 11 образует на земной поверхности 8 отрицательный температурный градиент, уменьшающийся в зоне утечки излучение земной поверхности.

Автоматизированный тепловизуальный контроль отличается тем, что его осуществляют с помощью стационарно установленной тепловизионной аппаратуры, включающей тепловизионные камеры и радиопередатчики, установленные на опорах воздушной линии электропередачи, катодной защиты магистрального трубопровода, сооружаемой вдоль его трассы, а также радиоприемное, вычислительное, видеоконтрольное и печатающее устройства, установленные на ближайшей вверх по движению транспортируемого продукта компрессорной или насосной станции. В этом случае тепловой мониторинг осуществляется непрерывно в режиме реального времени [40].

Метод *прямого измерения* с применением переносных газоанализаторов МЭМ-2М, УГ-2, МЕТАН-9М «НПА ТЕХНО-АС», ТГП-1 «РНПИ ЭЛЕКТРО-СТАНДАРТ» и др. В последнее время получает распространение установка при строительстве по трассе газопровода стационарных постов контроля с телеметрическим управлением. Сигнал от постов поступает на устройство обработки (ЭВМ) на компрессорной станции. В устройстве обработки происходит оценка данных и формирование алармов путем выделения диагностических признаков [41].

Гелиевое и галогенное течеискание. Галогениды — это вещества, в состав которых входят элементы группы галогенов (фтор, хлор, бром и йод). При появлении газообразного вещества, содержащего галогены, в галогенном течеискателе резко увеличивается ток, что фиксируется миллиамперметром [42]. Галогеновые течеискатели обладают чувствительностью на порядок выше обычных, они работают по аналогичному принципу, только вместо галогенидов в испытательную среду добавляют небольшой процент гелия. Приборы: анализаторы гелия — ИКГМ-1 и ИНГЕМ-1, Регел-2. Измеритель концентрации гелия ИКГМ-1 был разработан на основе масс-спектрометрических принципов анализа с высокой чувствительностью по гелию [43].

Контроль давления. Давление является основной испытательной нагрузкой трубопровода, поэтому его контроль позволяет статистически обоснованно определить случай разрыва и способствовать выявлению его местоположения. Для замеров используют датчики давления (например, типа «Метран»), а также образцовые манометры различного типа. Наблюдение ведут в течение всего периода испытаний на прочность и герметичность [41].

Акустический метод основан на индикации акустических колебаний, возбуждаемых в контролируемом объекте, грунте или окружающей газовой среде (воздухе) при вытекании пробного газа или жидкости через сквозные дефекты. Молекулы пробного вещества взаимодействуют со стенками сквозных дефектов объекта и генерируют в нем колебания звукового и ультразвукового диапазонов. Эти колебания фиксируются с помощью устанавливаемого на поверхности объекта ультразвукового или виброакустического датчика те-

чеискателя, преобразовывающего ультразвуковые колебания в электрические сигналы, передаваемые далее на показывающие и записывающие устройства течеискателя.

Для поиска мест утечек применяют акустические течеискатели «УСПЕХ-АТ-1» (НПА «ТЕХНО-АС»), «УЗОН» (АО «КОНСТАНТА»), позволяющие находить места утечек под слоем грунта и снега на глубине до 5 метров [44].

Контроль акустическим методом не требует применения специальных пробных веществ и высокой квалификации исполнителей. Недостатком метода является относительно низкая чувствительность и влияние посторонних шумов различного происхождения.

К **активным методам** относят:

Метод флуоресценции — направлен на прямое дистанционное обнаружение истекающего углеводорода при свечении молекул, возбуждаемых лазерным излучением, дает наиболее достоверную информацию о наличии и интенсивности утечки. Поскольку при обнаружении утечки состав продукта изначально известен, главными достоинствами метода являются чувствительность и простота реализации. Метод является наиболее предпочтительным при контроле протяженного газопровода испытываемого природным газом.

Метод активной резонансной абсорбции, в основу работы которого положен принцип лазерного зондирования слоя атмосферы до естественной подстилающей поверхности. Аномальное содержание природного газа в атмосфере (80...95 % которого составляет метан) определяется увеличением поглощения молекулами метана излучения гелий-неонового (He-Ne) лазера на длине волны $\lambda_1 = 3,3922$ мкм.

Для исключения влияния неизвестных факторов применяют дифференциальный двухволновый метод, в связи с чем в качестве опорного сигнала используется излучение He-Ne лазера на длине волны $\lambda_2 = 3,3912$ мкм. Удельный коэффициент поглощения в метане при атмосферном давлении для длины волны λ_2 имеет величину, почти на порядок меньшую, чем для длины волны λ_1 [39].

Примерами подобной аппаратуры могут служить отечественные системы дистанционного обнаружения утечек природного газа из магистральных газопроводов типа «Обзор», «Поиск», «Аэропоиск» и «Маг».

Разработан дистанционный лазерный детектор метана ДЛС-ПЕРГАМ предназначенный для обнаружения утечек природного газа из магистральных трубопроводов и других объектов, размещение которого возможно как на авиационных носителях, так и на автотранспортных средствах. Например, на его базе разработана мобильная лаборатория ПЕГАЗ на шасси автомобиля «Газель» [45].

К важному достоинству метода относится высокая чувствительность и избирательность, поскольку в данной области практически отсутствует наложение спектров поглощения обычных атмосферных газов.

Обобщенная структурная схема лидара показана на рис. 26.



Рис. 26. Обобщенная структурная схема лазерного лидара

5.3. Контроль состояния металла

Контроль состояния металла сооруженного трубопровода с целью выявления развивающихся дефектов (например, трещин) проводится совместно с гидроиспытанием методом акустико-эмиссионного контроля.

Акустико-эмиссионный контроль является единственным на настоящий момент методом, позволяющим выявлять и контролировать развивающиеся дефекты трубопроводов. Метод основывается на том, что упругие колебания, излучаемые при образовании и развитии дефектов, распространяются в металле газопровода в виде волн напряжения и могут быть зарегистрированы датчиками, размещенными на расстоянии до 100 м от источника АЭ [23]. Координаты дефектов определяются путем линейной локации, т. е. посредством регистрации времен прихода упругих колебаний на разные датчики. Схема линейной локации дефектов представлена на рис. 27.

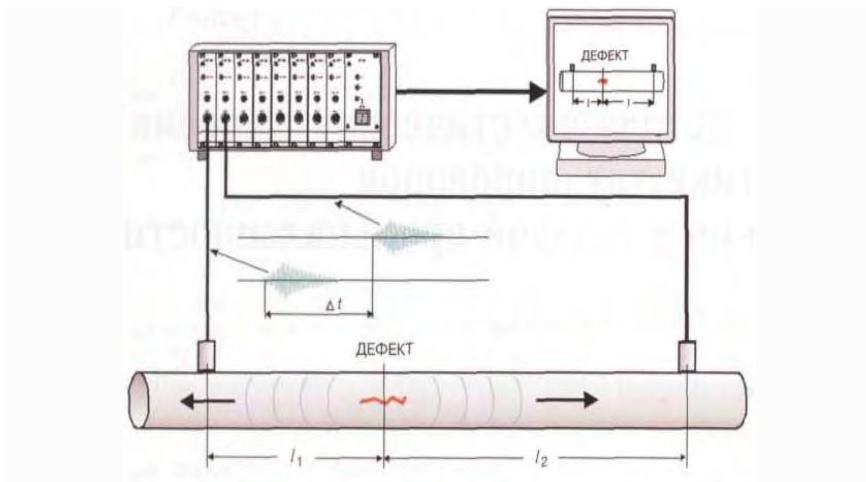


Рис. 27. Схема локации дефектов

Сложность локации дефектов на таком объекте как трубопровод заключается в том, что наряду с сигналами АЭ регистрируется значительное количество шумовых сигналов. Для устранения этих сигналов применяются специальные программы, позволяющие осуществлять фильтрацию сформированных в зоне событий сигналов по распределению энергия-амплитуда с целью удаления акустических и электромагнитных помех.

Для АЭ диагностики трубопроводов и другого оборудования применяются многоканальные цифровые АЭ системы «Малахит АС-12А», разработанные НПФ «Диатон» и другими фирмами. АЭ система относится к разряду полностью цифровых приборов. Вид АЭ системы представлен на рис. 28.



Рис. 28. АЭ система «Малахит АС-12А» с 16-ти и 8-ми канальными системными блоками

В последнее время наблюдается тенденция к увеличению объемов работ по диагностике трубопроводов и оборудования методом АЭ. Это связано с одной стороны, с повышением требований к надежности трубопроводов, с другой — с совершенствованием методик контроля и появлением высокоэффективных многоканальных АЭ систем, приспособленных для работы в полевых условиях.

К недостаткам метода можно отнести сложность интерпретации данных, что не всегда позволяет выявить все опасные дефекты, высокую стоимость приборов и обследования, повышенные требования к квалификации специалистов, проводящих обследования [42].

5.4. Порядок приемки в эксплуатацию трубопровода

Подготовленные к сдаче и испытанные объекты предъявляются к приемке государственным приемным комиссиям. Основной документ, определяющий порядок приемки, — СНиП 3.01.04—87 «Приемка в эксплуатацию законченных строительством объектов».

До проведения приемки государственной комиссией приказом заказчика (организации) назначаются рабочие комиссии, порядок и продолжительность их работы определяет заказчик по согласованию с генподрядчиком.

В состав рабочих комиссий включаются представители:

заказчика (председатель комиссии);

генподрядчика;

субподрядной организации;

эксплуатационной организации;

генпроектировщика;

органов государственного санитарного надзора и пожарного надзора;

государственной инспекции по охране атмосферного воздуха;

комитета гидрометеорологии;

профсоюзной организации.

Рабочие комиссии создаются не позднее чем в пятидневный срок после получения письменного извещения генподрядчика о готовности объекта.

Рабочие комиссии проверяют объект до предъявления заказчиком объекта государственной комиссии:

соответствие выполняемых строительно-монтажных работ, мероприятий по охране труда, охране окружающей среды, стандартам СНиПа и правилам производства работ с проведением, если необходимо, контроля испытаний конструкций;

приемку оборудования трубопровода после индивидуальных испытаний для передачи его для комплексного апробирования по акту;

проверку отдельных конструкций;

приемку оборудования после комплексного апробирования по акту.

После выполнения каждой проверки составляются акты установленных форм по СНиПам.

Генподрядчик представляет рабочей комиссии следующие документы:
перечень организации производства строительно-монтажных работ с указанием видов выполненных работ и фамилий инженерно-технических рабочих, ответственных за выполнение этих работ;

комплект рабочих чертежей с подписями о соответствии выполненных работ этим чертежам или внесенных изменений;

сертификаты, технические паспорта или другие документы о качестве материалов, конструкций, применяемых в производстве строительно-монтажных работ;

акты об освидетельствовании скрытых работ и промежуточной приемке отдельных конструкций;

акты об индивидуальных испытаниях смонтируемого оборудования;

акты об испытаниях устройств телемеханики, сигнализации и автоматики;

акты об испытании устройств, обеспечивающих взрыво-, пожаробезопасность, а также молниезащиту;

журналы производства работ и авторского надзора проектных организаций, материального обследования во время строительства органами государственного надзора.

Документы после окончания работы рабочей комиссии передают заказчику.

Государственная приемочная комиссия назначается заранее, но не позднее, чем за 3 месяца до установленного срока при приемке в эксплуатацию объекта производственного назначения. Назначаются даты начала и окончания работ комиссии с учетом срока ввода в эксплуатацию объекта.

В состав государственной приемной комиссии включаются представители:

заказчика (председатель комиссии);

эксплуатационной организации;

генпроектировщика;

органов санитарного надзора;

органов государственного пожарного надзора;

органов охраны окружающей атмосферной среды;

органов госгидрометеорологии;

технической инспекции труда;

министерства природных ресурсов;

профсоюзной организации заказчика или эксплуатационной организации;

главного финансирующего банка;

Ростехнадзора.

Если объекты подразумевают использование и сброс воды, то включается представитель органа водного надзора.

Государственная приемочная комиссия обязана проверить:

устранение недоделок, обнаруженных рабочей комиссией, и готовность объекта к приемке в эксплуатацию (проверка производится по программе, составленной заказчиком и утвержденной государственной приемочной комиссией);

прогрессивность технологических и архитектурно-строительных решений и объекта в целом;

соответствие вводимой в действие мощности и фактической стоимости (для заказчика), в случае отклонения проанализировать причины.

Заказчик представляет государственной приемочной комиссии документы, перечисленные выше для рабочей комиссии, а также:

справку об устранении недоделок, выявленных рабочей комиссией;

перечень проектных изыскательских организаций, участвовавших в проектировании;

документы об отводе земельных участков на специальное водопользование.

Государственная приемочная комиссия при выявлении непригодности объекта к эксплуатации представляет мотивированное заключение в орган, назначивший комиссию.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы испытания газопровода на прочность и герметичность?
2. Из каких операций состоит процесс испытания?
3. От каких показателей зависит выбор испытательного давления?
4. Какой принцип положен в контроль герметичности тепловизуальным методом?
5. Какие методы контроля герметичности относят к пассивным?
6. Какой принцип положен в основу работы акустико-эмиссионных систем?
7. С какой целью создаются рабочие комиссии по приемке трубопроводов?
8. Какие документы представляются генеральным подрядчиком в Государственную комиссию по приемке трубопровода в эксплуатацию?
9. Кто входит в состав Государственной комиссии по приемке трубопровода в эксплуатацию?
10. Что обязана проверить Государственная комиссия при приемке трубопровода?

6. ПОСЛЕМОНТАЖНЫЙ КОНТРОЛЬ ТРУБОПРОВОДОВ

Государственная приемка трубопровода по окончании строительно-монтажных работ служит основанием для определения качества работ.

Но ряд дефектов, полученных вследствие нарушения технологии производства работ, либо неправильного выбора проектных решений, не проявляется в процессе производственного контроля и испытаний, а выявляется в течение определенного времени после окончания строительства.

Например, некачественно наложенное покрытие приводит к развитию интенсивных коррозионных повреждений, укорачивающих срок службы трубопровода, а нарушение технологии укладки — к образованию дефектов геометрии (вмятин, гофр) и поверхности (задилов, рисок, царапин и т.п.). Неучет реальных характеристик грунтов в месте прокладки и характера взаимодействия с трубопроводом приводит к подвижкам, деформациям и повышенным напряжениям.

Поэтому актуальным становится вопрос о проведении послемонтажного контроля трубопровода в период гарантийного срока его эксплуатации, либо к его окончанию, определенного соглашениями между подрядчиком и заказчиком.

Примером актуальности послемонтажного контроля может послужить проведение в 1999 г. внутритрубной диагностики с помощью магнитного дефектоскопа ДМТ-2 на газопроводе Починки — Изобильное 1...300 км ООО «Волгоградтрансгаз», только что введенного в эксплуатацию. Обследованием было выявлено 162 дефекта, 25 из которых требовали немедленного устранения. Данные дефекты не были выявлены другими видами исследований на стадии СМР и приемо-сдаточных испытаний.

Внедрение с 2000 года послемонтажного контроля в ОАО «Газпром» привело к существенному повышению надежности вновь вводимых магистральных газопроводов — частота отказов за эти десять лет снизилась почти в три раза. Достигнут весьма высокий уровень надежности — 0,98.

Основные методы послемонтажного контроля можно условно разделить на три основные группы: внутритрубные, при этом дефекты выявляются и оцениваются с помощью пропуска инспекционных диагностических снарядов; контактные, определяющие дефекты на расстоянии не более 10 см от трубы, реализуются применением различных методов неразрушающего контроля трубопровода и покрытий в протяженных шурфах; дистанционные, диагностирующие дефекты без открытия труб [33].

Большая протяженность магистральных трубопроводов вызывает необходимость применения для их диагностики методов, обладающих высокой производительностью и не требующих непосредственного контакта с металлом трубы. Из лидирующих методов в этом направлении можно назвать такие, как внутритрубная диагностика (ВТД), электрометрические обследования и метод, основанный на магнитной памяти металла (МПМ).

Идея **внутритрубной диагностики** была реализована в 80-х годах посредством создания внутритрубных инспекционных снарядов (ВИС), которые,

перемещаясь в потоке по трубопроводу, осуществляют сбор информации о дефектах. Основными достоинствами ВТД являются:

прямой характер обследования — ВТД обследует непосредственно тот объект, состояние которого важно для нормальной и безопасной эксплуатации, — собственно трубопровод;

разнообразие обследуемых объектов трубопровода (краны, тройники, сварные швы и т.д.); специально установленные маркеры, которые можно привязать к линейным отметкам, визуалью на местности и по географическим координатам;

не требуется установка приборов постоянного контроля;

большой участок обследования — в среднем протяженность одного прохода снаряда-дефектоскопа составляет 100 км;

высокое разрешение — размеры обнаруживаемых дефектов и особенностей измеряются в мм.

При проведении ВТД генерируется огромное количество данных (до нескольких миллионов записей за сезон), что создает благодатную сферу применения информационных технологий для анализа состояния и выявления скрытых тенденций и динамики процессов в трубопроводах на основе больших массивов данных.

Подготовка участка к обследованию включает:

первичную очистку полости МГ и определение минимальных размеров сечения труб (калибровка);

тонкую очистку — удаление мелкодисперсных отложений;

магнитную очистку (удаление ферромагнитного мусора и первичное намагничивание газопровода).

Применяют очистные скребки грубой, тонкой очистки и магнитноочистные поршни типа МОП или УМОП (рис. 29).

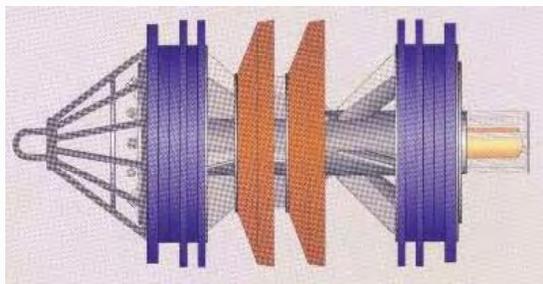


Рис. 29. Общий вид очистного скребка

Шаблоны (устройства контроля очистки типа УКО) применяют для калибровки и контроля степени очистки участка перед пропуском профиломеров и дефектоскопов. Шаблон сконструирован аналогично ВИС, но не несет диагностической аппаратуры. Его пропускают по трубопроводу после его очистки.

Препятствия движению оставляют след на полиуретановых манжетах шаблона. Пропуск ВИС проводят только после изучения состояния шаблона.

В процессе монтажа и укладки, а также вследствие неравномерности эксплуатационных и природно-климатических нагрузок возможно изменение проходного сечения, что помимо уточнения стенки трубы приводит к концентрации напряжений и снижении прочности. Процесс оценки профиля трубы называется *профилеметрией* и включает:

- контроль формы поперечного сечения труб по длине трассы;
- определение наименьших радиусов изгиба и мест сужения.

Внедрение высококачественного процесса внутритрубного обнаружения вмятин и механических повреждений может дать возможность получить информацию по профилям вмятин и факторам увеличения нагрузки, необходимую для начала процесса контроля механической целостности диагностируемого трубопровода.

Чем более высококачественная информация имеется об обнаруженной аномалии, тем лучше будет последующий анализ повреждений. При этом также осуществляется регистрация конструктивных элементов и особенностей трубопровода [46].

Особенности и искажения формы газопровода, выявленные с помощью снарядов-профилемеров, приведены в табл. 2.

Основные технические характеристики используемых снарядов-профилемеров указаны в табл. 3.

Таблица 2. Выявленные снарядами-профилемерами особенности и искажения формы газопровода

Особенности положения газопровода	Искажения формы поперечного сечения труб
Радиусы кривизны газопровода в плане и профиле	Овальность
Углы поворота газопровода в плане и профиле	Вмятины
	Выпуклости
	Гофры

Таблица 3. Основные технические характеристики используемых снарядов-профилемеров

Наименование	Значение
Минимальное проходное сечение	0,6 $D_{\text{н}}$
Минимальный проходной радиус изгиба	1,5 $D_{\text{н}}$
Минимальное давление	8,0 МПа
Допустимая скорость пропуска	2...5 м/с
Оптимальная скорость пропуска	3 м/с
Время непрерывной работы	45 часов
Регистрируемые отклонения формы поперечного сечения	1...2 мм

Профилеметрия производится внутритрубными электронно-механическими снарядами-профилемерами типа ПРТ (рис. 30, а), либо электронными профилемерами с эластичными манжетами кругового охвата (рис. 30, б)

и основывается на измерении внутреннего сечения трубы для определения местных искажений формы и регистрации пройденного пути по участку газопровода (рис. 30, в) [42].

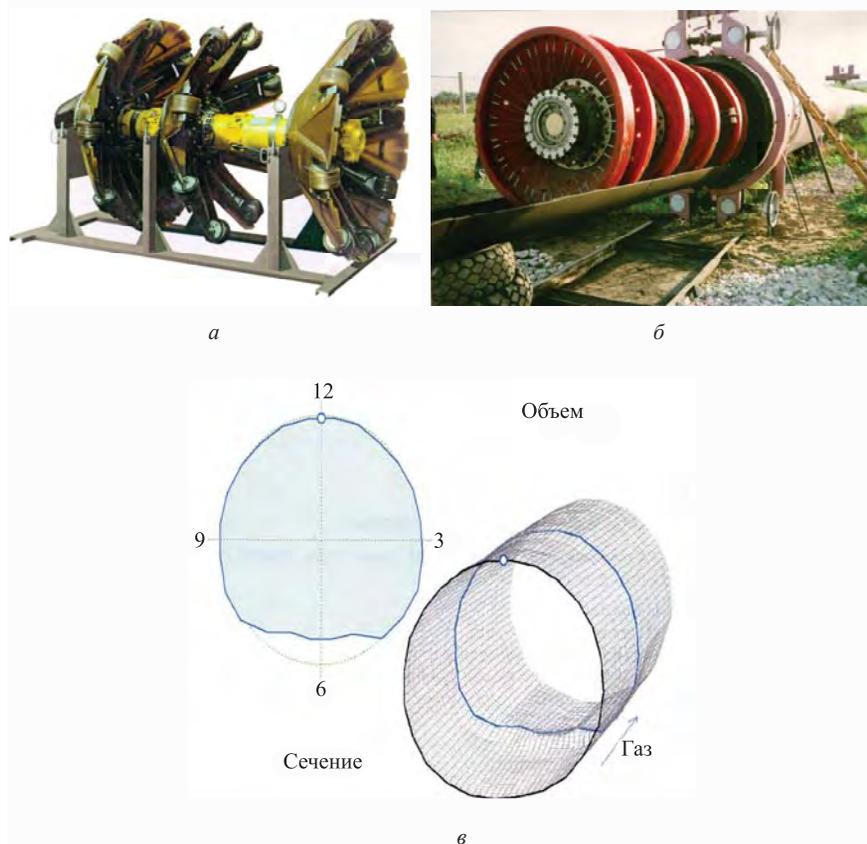


Рис. 30. Профилемеры и выявляемые с их помощью дефекты: а — профилемер типа ПРТ; б — профилемер кругового охвата с эластичными манжетами; в — дефекты профиля, выявляемые профилемером

Внутритрубная дефектоскопия базируется в основном на применении двух методов — ультразвукового и магнитного. При этом выполняют контроль основного металла стенок труб и контроль сварных соединений.

Ультразвуковой метод контроля основан на способности энергии ультразвуковых колебаний распространяться с малыми потерями в однородной упругой среде и отражаться от нарушений сплошности этой среды. По интенсивности и времени отражения определяют размер и местоположение дефекта.

Внутритрубные ультразвуковые высокого разрешения дефектоскопы являются снарядами второго поколения и предназначены для внутритрубного неразрушающего контроля трубопроводов без выведения их из эксплуатации

(рис. 31). Для контроля используются ультразвуковые волны, представляющие собой механические колебания упругой среды с частотами 0,8; 1,8; 2,5 и 3,5 МГц.



Рис. 31. Общий вид ультразвукового дефектоскопа

Сканирование поверхности трубы производится каждые 3,3 мм в продольном и каждые 8 мм в окружном направлениях. Дефектоскоп снабжен устройством задержки включения для проведения диагностики длинных участков трубопроводов за несколько пропусков.

Протяженность трубопровода, диагностика которого гарантируется за один пропуск дефектоскопа, — 120 км.

Транспортируемые среды — вода, нефть, все свободные от газов жидкости, газожидкостные смеси и газ (дефектоскоп должен находиться в жидкостной пробке).

Минимальное проходное сечение трубы — $85\% D_n$.

Минимальный радиус изгиба трубы, обеспечивающий прохождение дефектоскопа — $1,5 D_n \times 90$.

Максимальное рабочее давление — 10 МПа.

Рекомендуемая скорость пропуска дефектоскопа — 1 м/с.

Допустимая скорость пропуска дефектоскопа — 0,2 ... 1,5 м/с.

Диапазон температур эксплуатации: от $-15\text{ }^\circ\text{C}$ до $+50\text{ }^\circ\text{C}$.

Обнаруживаемые дефекты — внутренняя и внешняя потеря металла различной природы, царапины, расслоения, газовые поры, шлаковые включения.

Чувствительность:

точечная коррозия без измерения глубины: минимальный диаметр — 10 мм;

точечная коррозия с измерением глубины: минимальный диаметр — 20 мм,

минимальная глубина — 1,0 мм;

сплошная коррозия: минимальная глубина — 1,0 мм;

расслоения: минимальный диаметр — 6 мм (30 мм^2);

точность оценки глубины коррозии $\pm 0,5$ мм.

Погрешность определения местоположения дефекта по длине (с использованием одометра, маркера и информации о положении кольцевого сварного шва) $\pm 0,20$ м.

Погрешность определения дефекта по окружности $\pm 15^\circ$.

Оценка опасности дефектов проводится по методикам, основанным на положениях стандарта В31G, адаптированных к маркам отечественных трубных сталей и согласованных с Ростехнадзором России. Перед пропуском прибора

для определения готовности участка трубопровода к пропуску внутритрубного ультразвукового дефектоскопа после проведения мероприятий по его очистке применяют устройство контроля очистки (УКО) 6”/48”.

Фирмы-изготовители приборов ИТЦДиаскан, Пайптроникс США (Ultrascan WM, Ultrascan CD) [47].

По результатам обследования возможно построить трехмерную псевдообъемную модель дефекта (рис. 32).

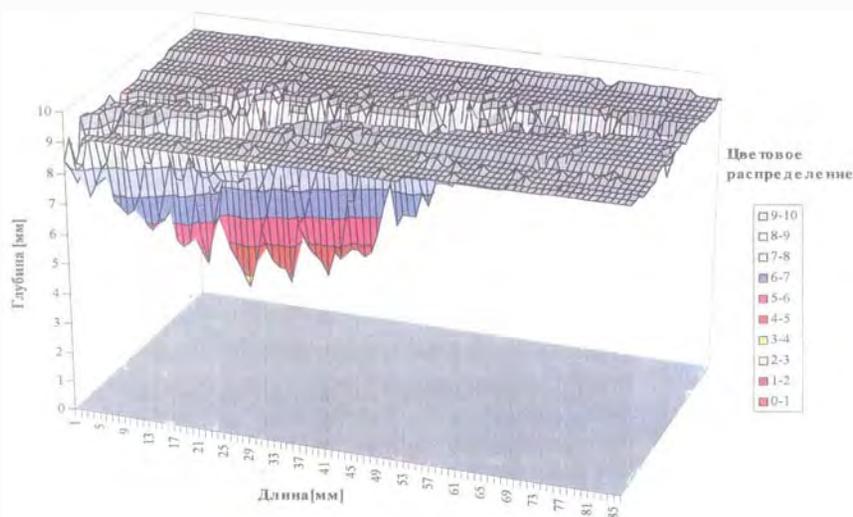


Рис. 32. Трехмерное изображение коррозионного дефекта, построенное по данным ультразвукового дефектоскопа

Ультразвуковые устройства имеют целый ряд преимуществ:

не зависят от скорости перемещения в трубопроводе;

могут обнаруживать все виды трещин;

ультразвуковые устройства могут проводить измерения абсолютной толщины, позволяют определить большие перспективы этого метода обнаружения и регистрации большинства типов дефектов.

К недостаткам ультразвукового метода следует отнести влияние на его точность следующих факторов:

геометрии контролируемого изделия, а также ориентации дефектов;

зависимости между формой акустического пучка и геометрией дефекта;

внутренней структуры (размеров зерна, пористости, включений) контролируемого изделия.

Магнитная внутритрубная дефектоскопия базируется на регистрации рассеивания магнитного потока в месте дефекта. Первый магнитный дефектоскоп РП продольного намагничивания был произведен компанией Perelint Integrity International США в 1998 году. Дефектоскоп оснащается постоянными

магнитами, которые создают в теле трубы мощное магнитное поле, направленное вдоль продольной оси трубопровода. Магнитный поток передается на стенку трубы с помощью стальных щеток, крепящихся к магнитному контуру снаряда (рис. 33).



Рис. 33. Общий вид снаряда продольного намагничивания

По мере перемещения устройства вдоль трубопровода электромагнитное поле перемещается по стенке трубы. При движении снаряда система из постоянных магнитов намагничивает участок трубы до состояния почти технического насыщения. Поток остается в стенке трубы до тех пор, пока в ней не появится дефект. В месте дефекта по наружной или внутренней поверхности создается поле потока, лежащее снаружи стенки трубы. В работе дефектоскопа используется принцип утечки магнитного потока, т.н. эффект Холла. Искажение поля потоком индуцирует сигналы в одну или несколько групп катушек (датчиков Холла), расположенных между полюсами магнита и направленных вокруг окружности трубы. Полученный электрический сигнал и его положение относительно трубопровода записывается в память прибора. После этого проводится просмотр и распечатка показаний.

Датчики 1-го типа являются основными и предназначены для обнаружения и измерения внешних потерь металла и трещиноподобных дефектов в стенке трубопровода, а также аномалий в поперечных сварных швах (рис. 34).

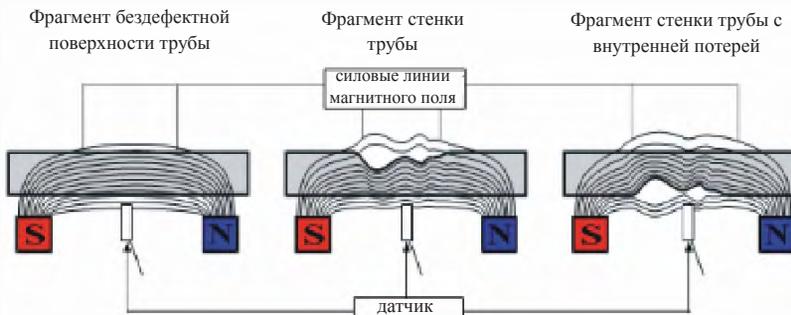


Рис. 34. Датчик Холла для выявления внешних дефектов

Для определения типа потери металла (внешняя или внутренняя) предназначены датчики 2-го типа (рис. 35), создающие локальное магнитное поле, сфера действия которого позволяет обнаружить наличие особенностей только на внутренней поверхности стенки трубы или в непосредственной близости от нее.

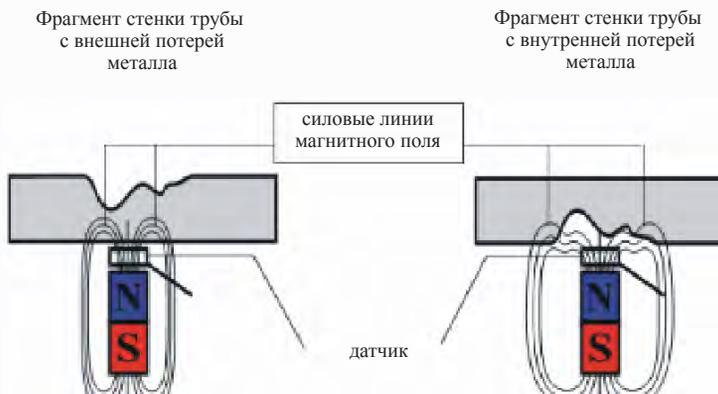


Рис. 35. Датчик для выявления внутренних дефектов

Устройство внутреннего магнитного контроля дефектоскопа позволяет индикаторным способом обнаружить поперечно ориентированные дефекты и элементы обустройства. Однако это устройство ненадежно при обнаружении дефектов в форме трещин, особенно ориентированных вдоль образующей трубы, т.к. такие дефекты не вызывают достаточно высокого возмущения поля магнитного потока.

Для выявления продольных трещин и дефектов, вытянутых в осевом направлении, используют снаряды окружного рассеяния магнитного потока (СМФЛ), работающие на принципе контроля поперечного магнитного поля (КПМП), оснащенные крестообразно размещенными намагничивающими устройствами (рис. 36).



Рис. 36. Общий вид магнитного дефектоскопа поперечного намагничивания

Прибор имеет два намагничивающих устройства четырехполюсного вида развернутых на угол 45° . Дуга между щетками занята первичными датчиками, вторичные находятся впереди щеток.

Разработчики дефектоскопов КППП: ДМТП (Спецнефтегаз), Код 4М, Код 3К-720 (МНПО Спектр), Крот 1000М, Крот 1200М, УМД1000 (Саратоворгни-агностика), Магнескан 56 HR (Тьюбоскоп США), Розен (Франция).

Наиболее перспективным является использование приборов на смешанном магнитном поле (дефектоскоп разработки фирмы Sumitomo Metals). Поле создается двумя индукторами, расположенными по бокам магнито-чувствительного элемента. В момент, когда ток в обоих индукторах совпадает по направлению, магнитное поле направлено параллельно поверхности металла, при противоположном направлении тока — перпендикулярно. Изменение направления магнитного поля позволяет непрерывно ориентировать при параллельном направлении полеплены, трещины, а при перпендикулярном — раковины [48].

Таблица 4. Основные технические характеристики магнитных снарядов-дефектоскопов

Наименование	Значение
Минимальное проходное сечение	$0,85 D_n$
Минимальный радиус изгиба	$3 D_n$ при повороте на 90°
Максимальное давление	8 МПа
Допустимая скорость пропуска	1,5...2,5 м/с
Оптимальная скорость пропуска	2 м/с
Время непрерывной работы	90 часов

Таблица 5. Выявляемые магнитными снарядами-дефектоскопами особенности и дефекты

Дефекты потери металла	Коррозия, каверны, механические повреждения
Дефекты, связанные с нарушением сплошности металла	Расслоения в стенке трубы, трещины, включения, закаты
Сварные соединения и их дефекты	Расположение кольцевых стыков, спиральных швов; нарушения формы сварных соединений (смещение кромок, утяжины, отклонения размеров усиления шва), дефекты сварных соединений (раковины, подрезы и т.п.)
Производственный брак металла трубы	Дефекты проката, металлургические неоднородности
Дефекты расположения и размеров конструктивных элементов	Повреждения труб, врезных катушек, гибов, крановых узлов, тройников, отводов-врезок, отстойников, заварок технологических отверстий
Дефект элементов обустройства газопровода и другие особенности	Защитные кожухи (патроны) на переходах через дороги, пригрузы (хомутовые, кольцевые, чугунные), посторонние металлические предметы вблизи газопровода

Регуляторы скорости снарядов (байпасные устройства) предназначены для использования в составе различных по типу и назначению внутритрубных инспекционных дефектоскопов для поддержания скорости их движения в заданных пределах (от 0,25 до 1,6 м/с). Регуляторы скорости применяются, в первую очередь, при диагностировании трубопроводов, где затруднено снижение скорости потока транспортируемого продукта. Применение регуляторов скорости позволяет расширить эксплуатационные характеристики дефектоскопов.

Величина оптимальной скорости движения зависит в основном от толщины стенки и диаметра трубы. Расчеты показали, что оптимальная скорость прохода дефектоскопа должна быть не более 2,5 м/с [49].

Для выявления за один проход продольно и поперечно ориентированных дефектов фирма «Газприборавтоматикасервис» разработала комплекс СНТ—1000 (1200,1400), представляющий собой связку из двух магнитных дефектоскопов КППП и РМП и регулятора скорости. Скорость движения снаряда по трубопроводу не более 6 м/с. Максимальная длина трубопровода, обследуемая за 1 пропуск при скорости 6 м/с, не менее 200 км. Ресурс работы манжетных уплотнений и металлических щеток снаряда не менее 200 км. Время оперативного анализа информации обследуемого участка трубопровода составляет 16 часов. Погрешность идентификации локальных смещений осевой линии трубопровода не более 10 см (рис. 37).



Рис. 37. Комбайн фирмы «Газприборавтоматикасервис»

Фирма Розен (Франция) разрабатывает комбайны на основе комбинации внутритрубных снарядов-дефектоскопов на основе принципа рассеивания магнитного потока (MFL), окружного рассеивания магнитного потока (CMFL)

или недавно разработанного инструмента для дефектоскопии трещин с помощью электромагнитного акустического преобразователя (ECD) на основе использования электромагнитного действия ультразвука. В комбинации с ними возможно использование внутритрубного прибора-профилемера с высоким разрешением (XGP) для получения профиля трубы. В этом случае за один проход выполняется весь спектр работ по контролю состояния трубопровода. (рис. 38).



Рис. 38. Комбинированные дефектоскопы

Радиографический контроль подземных газопроводов без их вскрытия возможен только при использовании способа рассеивания радиоактивных лучей путем пропуска дефектоскопа, снабженного источником рентгеновского, либо гамма-излучения внутри трубопровода. При этом используемый в дефектоскопе изотоп должен иметь определенную жесткость, достаточную для заметного обратного рассеивания, большую продолжительность полураспада, чтобы не вносить поправок на уменьшение интенсивности излучения в процессе контроля, и высокую удельную активность, позволяющую использовать небольшие размеры аппарата. Наиболее доступными и широко используемыми в радиографии изотопами являются кобальт-60, туллий-170, цезий-137, иридий-192.

В приборе (рис. 39) [39, 42] способ обратного рассеивания используется для выявления отдельных дефектов и изменений толщины стенки магистральных трубопроводов. Основные элементы прибора размещены внутри корпуса 6, на котором устанавливаются эластичные манжеты 7, плотно прилегающие к внутренней поверхности трубопровода 1 и перекрывающие его поперечное сечение. Благодаря этому давление перекачиваемой среды передается на прибор, и он перемещается по трубопроводу.

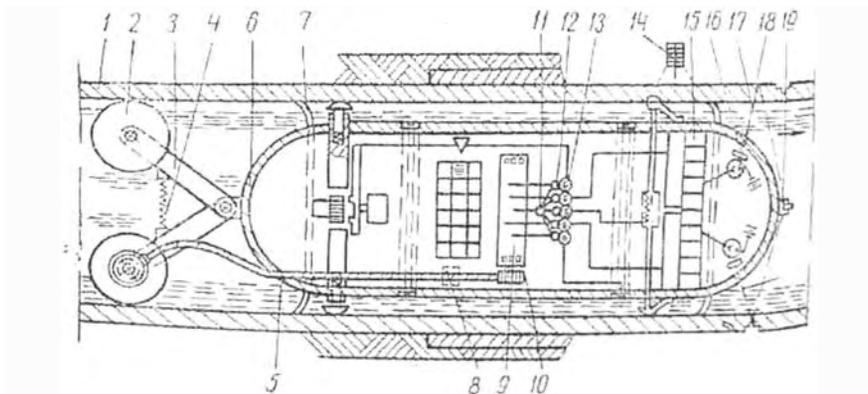


Рис. 39. Прибор для внутреннего обследования трубы методом радиографического контроля

В передней части прибора (по ходу) в контейнере размещен источник радиоактивных излучений 19. Радиоактивные лучи 17, направленные к исследуемой стенке трубопровода, рассеиваясь, попадают на сцинтилляционный кристалл 16, вызывая его свечение. Фотоэлемент 18, расположенный рядом с кристаллом, преобразует его свечение в ЭДС, которое через усилитель 15 прикладывается к катушке гальванометра 13 с закрепленным на ней зеркалом 12, вызывая его колебания, пропорциональные ЭДС фотоэлемента и характеризующие состояние стенки трубопровода. Для регистрации этих сигналов на зеркальце 12 направляется пучок света от источника 11, который, отражаясь, попадает на фотопленку 9, засвечивая ее.

Пленка продвигается пропорционально пройденному прибором расстоянию при помощи приспособления, состоящего из роликов 2, которые укреплены на рычагах 3, распираемых пружиной 4. При перемещении прибора ролики катятся по внутренней стенке трубопровода и при помощи гибкого вала 5 вращают зубчатое колесо 10, на оси которого закреплен барабан с фотопленкой. В некоторых случаях пленка может перемещаться часовым механизмом 8. Для определения поврежденного места в контрольных точках трубопровода на поверхности могут быть установлены мощные источники радиоактивных излучений 14, которые, воздействуя на кристалл 16, оставляют на фотопленке контрольную запись.

В приборе наряду с радиографическим способом контроля используется целый комплекс различных методов для более полного обследования трубопровода (определение величины протекающих по трубопроводу токов, наличие в трубопроводе воды и др.).

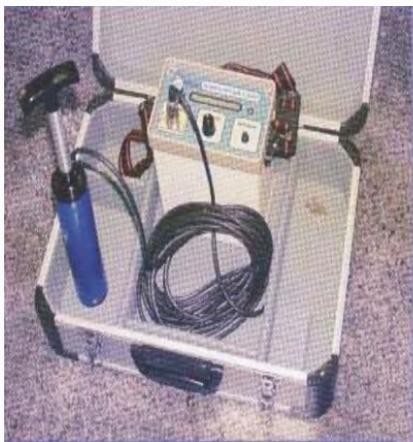
Кроме того, прибор снабжен устройством, преобразующим энергию перекачиваемой жидкости в электрическую для питания электрических схем прибора, и устройством, создающим специфические звуковые сигналы, по которым с поверхности земли следят за его перемещением по трубопроводу.

Для выполнения топографической привязки дефектов и газопровода, а также контроля движения внутритрубные дефектоскопы и профилемеры оснащают специальным навигационным модулем, связанным с маркерными станциями.

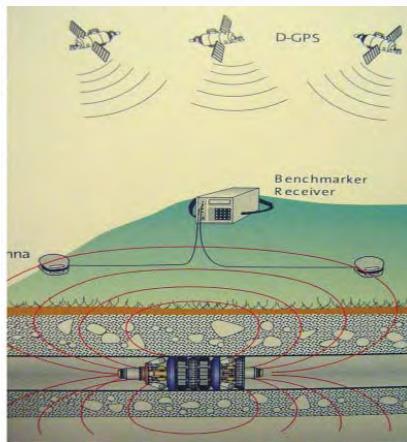
Для работы на трассе размещается от 50 до 100 станций. Дистанция между маркируемыми пунктами 1...2 км. МС содержит обнаружитель магнитных полей. Обнаружив пороговый сигнал, МС запоминает в файле показания своего счетчика времени и записывает в этот файл сигнал с датчика поля в течение 8 с с интервалом 0,05 с.

Положение маркируемого пункта определяется с помощью системы глобального позиционирования ГЛОНАСС или GPS (рис. 40, а) и записывается в журнал. В простейшем случае измерения производятся с помощью стальной рулетки с привязкой к заметным объектам на местности, или ставится колышек с номером.

Локаторы применяют для контроля прохождения очистных устройств и дефектоскопов. Акустический локаатор сконструирован специально для нужд внутритрубной диагностики. Обладая повышенной чувствительностью, позволяет определить движение снаряда на расстоянии до 1,5 км. При прослушивании имеется возможность оперативной регулировки уровня громкости и выбора одного из трех частотных диапазонов, полоса пропускания которых оптимизирована для дальнего, среднего и ближнего обнаружения. Прослушивание ведется на высококачественные головные телефоны (рис. 40, б).



а



б

Рис. 40. Средства контроля: а — акустический локаатор; б — маркировка участка

Разработаны и применяются также специальные внутритрубные снаряды топографы S — Scan для задач геопозиционирования трубопроводных систем, оборудованные ориентационно-навигационными системами типа «БИСОН», гидро-

скопами и бортовыми РС и комбинированные снаряды, сочетающие в себе магнитный дефектоскоп и модуль рентгеновского контроля (СУПЕРКРОТ) [46].

Результаты обследования (в зависимости от состояния газопровода объем информации составляет от 8 до 64 Гб) обрабатываются высококвалифицированным персоналом с помощью комплекса информационно-аналитических компьютерных систем и физико-математических методов для выявления, распознавания, оценивания размеров и расположения зарегистрированных особенностей, аномалий, дефектов и т.д.

Для анализа информация выводится на экран дисплея ПЭВМ в специальной форме, представляющей трубу в развернутом виде, при условии, что ведущий анализ человек идет следом за дефектоскопом по верхней образующей трубы, причем труба как бы разрезана по нижней образующей и обе ее половины отогнуты вверх так, чтобы человек мог их рассматривать (рис. 41).

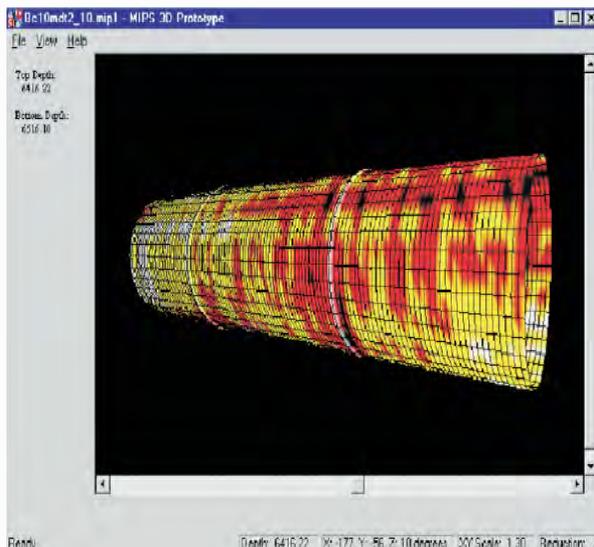


Рис. 41. Экранная форма магнитного дефектоскопа

Анализ и интерпретация ведется специалистами, прошедшими курс обучения и сертифицированными на 2-й уровень по магнитной или ультразвуковой диагностике.

Применяются специальные программы для обработки данных по результатам обследования:

Scan — для обработки данных, полученных профилемером;

Expert — для обработки данных, полученных ультразвуковым дефектоскопом;

PipeVision — для обработки данных, полученных магнитным дефектоскопом.

По каждому дефекту определяется степень его опасности, рекомендуемое рабочее давление, прогнозируемый ресурс поврежденного участка газопровода.

Оценка опасности обнаруженных дефектов:

критические (опасные) — расчетное допустимое давление ниже проходного давления в месте расположения дефекта;

значительные — расчетное допустимое давление выше проходного давления в месте расположения дефекта;

малозначительные (неопасные) — не приводящие к снижению несущей способности трубы ниже проектной.

Представление результатов производится в соответствии с рекомендациями международного стандарта «Specification and requirements for intelligent pig inspection of pipelines», «Shell international», Ver.2.1,06.11.1998.

По результатам обработки представляются:

графики движения внутритрубных приборов-дефектоскопов по трассе;

таблица реперных точек — список маркеров, крановых узлов, отводов, тройников;

таблица элементов обустройства и особенностей газопровода — изменения типа труб (спиральношовные, прямошовные, прямошовные-спиральношовные), патроны под дорогами, пригрузы, тройники, отводы-врезки, заварки технологических отверстий;

трубный журнал с измеренными длинами и толщинами трубных секций, расстояниями до кольцевых сварных стыков;

таблица результатов обследования — список выявления дефектов с указанием расположения, размеров и идентификацией (коррозийные дефекты, механические повреждения, вмятины, гофры, несовершенство сварных соединений и др.). Детализированная информация по каждой трубе с выявленными дефектами;

масштабная схема газопровода с указанием всех труб, расположения реперных точек, элементов обустройства, выявленных дефектов;

статистическое представление результатов обследования — распределения по видам и размерам, расположению выявленных дефектов.

Система внутритрубной инспекции и обработки информации обеспечивает современный уровень выявляемости дефектов и точности определения расположения и размеров элементов газопровода и выявленных дефектов [23].

По результатам анализа дополнительно предоставляются графики распределения выявленных дефектов; графики расположения дефектов на трассе с оценкой опасности каждого дефекта.

Применение современных численных методов позволяет существенно повысить качество внутритрубной диагностики и улучшить конструкцию приборов-дефектоскопов. Так, например, магнитная дефектоскопия основана на различии параметров магнитного поля в средах с разными магнитными характеристиками. Оценка параметров магнитного поля, создаваемого в трубе

при внутритрубной инспекции (с помощью прибора-дефектоскопа), позволяет на стадии разработки дефектоскопа качественно спроектировать его магнитную систему. Численный трехмерный анализ изменения параметров магнитного поля в зоне различных по конфигурации и типу дефектов дает возможность построения эффективных алгоритмов идентификации дефектов по магнитограммам.

Параметры магнитного поля, создаваемого магнитной системой дефектоскопа, могут быть вычислены в результате решения уравнений Максвелла в трехмерной постановке при соответствующих краевых условиях. Задачу можно решить методом конечных элементов (МКЭ), реализованным в программном комплексе ANSYS.

По данным внутритрубной диагностики участка трубопровода определяется геометрический профиль стенки трубы. Геометрический профиль стенки трубы дает информацию о расположении дефектов стенок эрозийного, коррозионного, механического, технологического происхождения.

В зависимости от текущего состояния трубопровода предлагаются рекомендации по срокам и объемам последующих диагностических или ремонтно-восстановительных работ [44].

Косвенным методом выявления коррозионных повреждений и дефектов изоляции являются также **электрометрические обследования на участке газопровода**. В основе метода лежат выявленные особенности электрохимического поведения коррозионной среды. Контроль выполняют методом выносного электрода, либо измерением поперечного градиента потенциала с шагом не более 5 м. Участки, имеющие отрицательную полярность градиента потенциала над трубопроводом, являются вероятными местами коррозионных дефектов.

В 2001 г. в ООО «Пермтрансгаз» и ООО «Сургутгазпром» было проведено сопоставление данных, полученных с помощью внутритрубного диагностирования и электрометрических измерений для выявления трещин КРН. Результаты сопоставления приведены на рис. 42.



Рис. 42. Сравнение результатов электрометрии и внутритрубной диагностики

На основании проведенных исследований выявлено, что очаги КРН, определенные с помощью предложенного электрометрического метода и метода внутритрубной диагностики, совпадают. Сравнение методов определения очагов КРН и коррозионных дефектов показало, что электрометрический метод эффективен даже для неглубоких дефектов, а метод внутритрубной диагностики эффективен для дефектов, имеющих значительную глубину (более 5 % толщины стенки). Поэтому предлагается проводить комплексную оценку, включающую использование обоих методов.

Недавно предложенный **метод бесконтактной магнитометрии** основан на исследовании распределения магнитного поля трубы. Он позволяет по аномалиям в напряженности магнитного поля локализовать возможные очаги коррозионных и механических повреждений без отрывки шурфов.

Метод основан на использовании собственного магнитного поля, генерируемого трубопроводом под действием динамико-механических нагрузок, вызываемых статическим и пульсирующим давлением газа. При этом измерение параметров магнитного поля может фиксироваться как в режиме эксплуатации газопровода, так и при отсутствии в нем давления газа, например, при производстве ремонтно-восстановительных работ (рис. 43) [27].

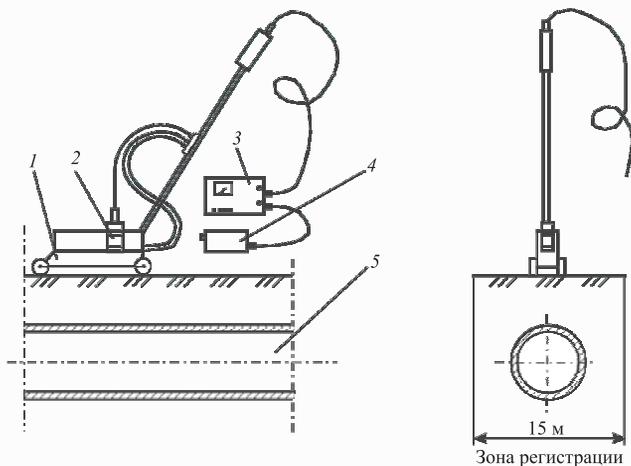


Рис. 43. Прибор для обнаружения дефектов бесконтактным методом:

1 — тележка; 2 — блок датчиков; 3 — электронный блок; 4 — аккумулятор;

5 — обследуемый газопровод

Блок датчиков включает в себя комплект феррозондовых датчиков, из которых X1 и X2 имеют горизонтальные магнитные оси, совпадающие с направлением оси трубопровода и включенные встречно по дифференциальной схеме. Датчик X3 установлен вертикально на тележке в компланарной плоскости с датчиками X1 и X2. Определение местоположения дефектов трубопровода проводится по полному спектру магнитных откликов материала по разности

сигналов двух дифференциально включенных датчиков с магнитными осями, совпадающими с осью трубопровода.

Метод, осуществляя ранний контроль состояния трубопроводов различного назначения, позволяет находить аномальные участки на стадии зарождения структурных изменений в металле, чем существенно отличается от традиционных методов неразрушающей диагностики [27].

Необходимо отметить, что без вскрытия газопровода удастся выявить только часть дефектных участков (50...80 %), на которых диагностические признаки явно наблюдаются с поверхности земли или имеются крупные дефекты, обнаруженные снарядами-дефектоскопом. Если с помощью снарядов-дефектоскопов можно добиться высокой производительности обследования трубопроводов при невысокой достоверности оценки параметров дефектов, то при обследованиях участков газопроводов в шурфах методами локальной диагностики достигается 100 % уровень выявляемости и идентификации дефектов, а также выполняется классификация дефектов по степени их опасности [14].

Земляные работы при шурфовках выполняются в два этапа. На первом этапе разрабатывается грунт до верхней образующей труб, отмеченных на карте привязки дефектов меткой «V». На втором этапе производится полное вскрытие поврежденных участков труб. Вскрытие поврежденного участка трубы производится с двух сторон трубы на глубину, превышающую глубину заложения нижней образующей трубы не менее 0,5 м на длине, превышающей длину заявленного дефекта по 1 м в каждую сторону.

Вскрытие изоляции производится по всему периметру трубы на длине, превышающей длину заявленного дефекта на 1 м в каждую сторону.

Если после вскрытия изоляции обнаруживаются наружные дефекты, последние очищают от продуктов коррозии и грязи до степени, позволяющей производить съемку топографии поврежденного участка с обмером глубин.

При отсутствии видимых наружных дефектов поверхность металла зачищается до степени, позволяющей проводить ультразвуковую дефектоскопию. Шероховатость подготовленной поверхности должна быть не ниже $R_z = 40$ мкм.

Все дефекты, выявленные в процессе обследований, описываются, идентифицируются, привязываются к контрольным отметкам и наносятся на технологическую схему трубопровода. Они привязываются относительно сварных стыков труб и маркируются путем нанесения масляной краской отметки дефекта и направления потока по верхней образующей трубы.

Далее происходит идентификация дефектов — процедура, в ходе которой визуально и средствами наружной дефектоскопии определяется вид повреждения (коррозия, механическое повреждение, внутренний дефект), характер (геометрические особенности дефекта), местоположение и возможные причины образования дефектов. Идентификацию дефектов проводит отдельная бригада, состоящая из дефектоскописта, аттестованного на второй уровень в центрах Национального аттестационного комитета по неразрушающему контролю, слесаря и представителя предприятия, эксплуатирующего трубопровод, в обязанности которого входят:

проведение вводного инструктажа и оформление наряд-допуска для работы в шурфе;

контроль безопасности при проведении дефектоскопии обследуемого участка трубопровода.

После получения наряд-допуска дефектоскописты по карте привязки дефекта проверяют правильность выбора дефектной трубы и разметки заявленных дефектов.

Идентификация наружных дефектов имеет некоторые особенности, зависящие от вида дефекта.

Описание локальных дефектов протяженностью до 50 мм (задиры, раковины) обычно ограничивается составлением схемы дефекта на развертке трубы с указанием максимальной глубины и длины дефекта в осевом направлении и фактической толщины стенки в окрестности дефектов. Для более протяженных локальных дефектов необходима съемка топографии дефектов на кальке в масштабе 1:1 с измерением глубин по сетке.

Описание протяженных наружных повреждений включает в себя:

вид дефекта;

местоположение повреждения на развертке трубы с указанием общих размеров повреждения (длина, ширина, фоновая глубина);

местоположение локальных, наиболее глубоких уточнений (коррозия, задира, деформация), входящих в состав основного повреждения с указанием длины, ширины и глубины;

съемку наиболее опасного участка на кальку в масштабе 1:1 с измерением глубин;

толщинометрию по периметру основного повреждения с шагом 100...500 м.

Границы обнаруженных дефектов на трубе обводятся масляной краской.

По результатам контрольных шурфовок составляется соответствующая ведомость, представленная в виде таблицы [28].

Отдельные элементы трубопровода — темпфлеты — могут быть вырезаны и подвергнуты контролю разрушающими и неразрушающими методами в лабораторных условиях. Цель таких исследований — углубленное изучение изменения структуры и физико-механических характеристик трубных сталей в результате старения или воздействия агрессивных веществ.

Если дефектный участок в результате уточненного расчета попадает в ряд опасных, необходимы ремонтные работы на этом участке. В противном случае производится переизоляция трубопровода и засыпка шурфов [50].

Все выявленные при обследовании поверхностные дефекты труб и соединений должны быть устранены по одной из следующих ремонтных технологий:

контролируемая шлифовка;

сварка (заварка);

вырезка из газопровода.

Допускается устранение пологих коррозионных дефектов методом дробеструйной (пескоструйной) обработки поверхности при условии применения

технологии нанесения изоляционного покрытия, обеспечивающей регламентируемую адгезию изоляции к поверхности трубы, обработанной указанным способом. Для расчета сроков обследования дефектных труб в шурфах рекомендуется использовать электронный паспорт участка газопровода или программу ГАЗНАДЗОР-ОД-СО [31].

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте причины необходимости послемонтажного контроля трубопровода.
2. Какие методы послемонтажного контроля применяют на практике?
3. Какие типы приборов применяют при внутритрубной диагностике трубопроводов?
4. В чем отличия магнитных внутритрубных дефектоскопов продольного и поперечного намагничивания?
5. Опишите преимущества внутритрубного диагностирования.
6. Какие документы представляются по результатам внутритрубного обследования?
7. С какой целью проводят контроль механических свойств трубной стали?
8. Какой принцип положен в работу приборов бесконтактной магнитометрии?
9. Какие преимущества имеет совмещение внутритрубного обследования и электрометрии?
10. Что включает в себя описание дефектов, выявленных в шурфах?

7. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ ОТКАЗОВ И ПОВЫШЕНИЮ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ

Накопленный экспериментальный материал позволяет уже сегодня на этапах строительства и проектирования трубопроводов осуществлять ряд практических мер, которые существенно снижают вероятность образования и развития отказов.

Уже при выборе трассы необходимо учитывать, что на процесс образования коррозионных и стресс-коррозионных повреждений существенное влияние оказывают химический, ионный и микробиологический состав грунтов, его обводненность, показатель кислотности pH, содержание углекислого газа и кислорода, естественный потенциал коррозии стали в грунтовой среде, реальная концентрация носителей ионов водорода H^+ и др., а также проектных данных по давлению, температуре, расстоянию от перекачивающей станции [51]. Сточные воды промышленных предприятий, биокombинатов и т.п. могут приводить к значительным коррозионным повреждениям трубопроводов. Поэтому трассу трубопровода следует располагать не ближе 50 м к указанным источникам загрязнения [52].

ВНИИСТом разработана методика комплексной диагностики на основе расчета индексов вероятности с учетом перечисленных факторов, а также проектных данных по давлению, температуре, расстоянию от компрессорной (насосной) станции. В случае установления высокой вероятности повреждений проводятся лабораторные исследования выбранной трубной стали по методике испытания разрывных образцов до разрушения в условиях медленной деформации (SSRT-метод) в грунтовой среде с наложением защитного электрического потенциала. При подтверждении высокой вероятности коррозионных и стресс-коррозионных повреждений выбранной стали создается возможность изменения трассы трубопровода, минуя опасный участок с агрессивным грунтом, выбора другой марки трубной стали либо искусственного изменения состава грунта на опасных участках небольшой протяженности [53].

Все коррозионно-механические разрушения трубопроводов имеют место при рабочих напряжениях в стенке трубы на уровне 70...85 % от регламентированного предела текучести трубной стали независимо от поставщика труб. Поэтому уровень допустимых напряжений рекомендуется устанавливать не выше 65 % регламентированного предела текучести трубной стали. Необходимо также ограничивать уровень напряжений, возникающий в стенке трубопровода от действия ряда технологических, монтажно-строительных и геодинамических факторов. К ним относятся остаточные напряжения в трубах после их изготовления, напряжения, возникающие от упругого изгиба участков трубопровода и подвижек земной коры. Предлагается ограничить суммарный уровень всех дополнительных нерасчетных напряжений величиной не более 10 % от регламентированного предела текучести [54].

Особое внимание уделяют контролю свойств металла труб, изоляции, сварочных материалов на соответствие требованиям ГОСТов и ТУ.

Применение малоперлитных сталей с карбонитритным упрочнением и контролируемой прокатки привело к повышению пределов прочности и текучести металла труб. При этом отношение предела текучести к пределу прочности увеличилось с 0,6...0,7 для труб из нормализованных сталей до 0,75...0,9 для труб из сталей контролируемой прокатки [55]. Рекомендуется ввести в ТУ на поставку труб, изготовленных из сталей контролируемой прокатки ограничение этого отношения величиной не более 0,85 [24].

Зона термического влияния в трубных сталях колеблется в среднем от 25 до 45 мм. При проведении измерений твердости в околосшовной зоне по методу Роквелла на твердомере СуперРоквелл и по методу Викерса обнаруживается резкое снижение («провал») значений твердости в ОШЗ на длине 25...30 мм [56]. Это характеризует пониженную ударную вязкость данной области по сравнению с остальными. На трубной стали марки 09Г2ФБ (трубы Волжского трубного завода (ВТЗ), изготовленные по ТУ 14-3-1363—85) были проведены опыты по исправлению «провала» в околосшовной зоне путем термической обработки. Сообщается, что локальная термическая обработка (ЛТО) позволила повысить в 4 раза минимальное значение ударной вязкости в околосшовной зоне (с 2 до 8 кгс·м/см²), а коррозионная стойкость металла после восстановительного отжига повысилась примерно на 5 % по сравнению с исходным состоянием. Таким образом, основной причиной снижения коррозионной стойкости в околосшовной зоне являются структурная неоднородность и аварийные напряжения. Они проявляются в неоднородности механических свойств и, соответственно, в способности к релаксации напряжений путем пластической деформации [48]. Для снижения уровня остаточных растягивающих напряжений рекомендуется при производстве труб проводить их отпуск при $t = 250...300$ °С в течение 2 часов, а перед нанесением изоляции — дробеструйную обработку со специальными режимами с целью создания на наружной поверхности трубы слоя металла глубиной не менее 0,5 мм, в котором действуют остаточные напряжения, препятствующие зарождению трещин [46].

При балластировке должен быть исключен непосредственный прямой контакт бетонного утяжелителя типа УБО и 1—УБКМ с поверхностью трубы во избежание повреждения изоляции при подвижках трубопровода [57].

Важную роль в замедлении деградиционных процессов играет снижение переменной составляющей напряжения в стенке трубопровода. Пороговые напряжения заметно снижаются при частотах колебаний 10^4 и 10^6 Гц и изменении амплитуды нагрузки в пределах 1,5...5,0 % (частота суточных колебаний давления в трубопроводе) [58].

Так как большинство разрушений на газопроводах, выполненных из стали Х70, происходит на расстоянии около 200 мм от сварного продольного шва, целесообразно отказаться от применения труб с двумя сварными швами.

При строительстве не рекомендуется использовать трубы Харцызского завода и других производителей, продукция которых показала высокую частоту отказов.

Одно из основных условий коррозионного повреждения труб — отслоение изоляционного покрытия, образование складок и гофр при его нанесении в полевых условиях. Величину адгезии изоляционного покрытия характеризует предел прочности на сдвиг. Учитывая, что максимальная сдвигающая прочность мелкодисперсного грунта, на который укладывается трубопровод, составляет 2,5 кг/см, адгезионную прочность покрытия при сдвиге следует установить на уровне 3,0...3,5 кг/см при максимальной температуре эксплуатации трубопровода. Необходимо применять трубы с изоляцией, наносимой в заводских, а не трассовых условиях. Для изоляции сварных стыков следует использовать термоусаживающиеся муфты. Желательно применять многофункциональную изоляцию, наносимую в заводских условиях из нескольких слоев или включать в ее состав ингредиенты с максимальными защитными свойствами от воздействия внешних факторов — продуктов жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих бактерий, агрессивных ионов, растворенных в воде газов.

С целью снижения вероятного образования на поверхности трубы под отслоившейся изоляцией зон с опасными потенциалами, перепад защитных потенциалов труба-земля в начале и в конце защищаемого потенциально-опасного участка рекомендуется уменьшить не менее, чем на 40 % от максимально допустимого [59].

Температурный фактор влияет на активность и концентрацию агрессивных ионов среды, соприкасающейся со стенкой трубы, расширение критических пределов электродного потенциала, при которых протекает процесс коррозии под напряжением, свойства изоляции трубопроводов. Следует ограничить температуру трубопровода при его эксплуатации, в том числе на участках, прилегающих к КС (НПС), величиной не выше +25 °С.

Испытания строящихся трубопроводов на прочность и герметичность следует проводить только гидравлическим способом, т. к. он является наиболее безопасным и позволяет обнаружить мельчайшие дефекты. Рекомендуется применять испытания гидравлическим давлением, близким к пределу текучести трубной стали (стресс-тест). Лабораторная оценка влияния стресс-теста VD TUV 1060 на механические свойства и сопротивление стресс-коррозии трубных сталей при низком рН была проведена ЦНИИЧермет им И.П. Бардина в лаборатории качественных сталей КС-15 и показала высокую его эффективность [37].

На многих действующих трубопроводах разрабатываемые маршруты комплексной диагностики не могут быть выполнены в полном объеме. Так, системы внутритрубной диагностики не могут быть применены для контроля на 70 % существующих трубопроводов из-за жестких требований к геометрическим параметрам трубопроводных систем. Типичным для отечественных трубопроводов является положение, при котором технически невозможно осуществить пропуск внутритрубных дефектоскопов из-за отсутствия устройств приема и запуска очистных устройств, неравнопроходной запорной арматуры, телескопичности участков газопровода, наличия изгибов, острых углов и т.п. При проектировании и строительстве вопросам контролепригодности необходимо уделять особое внимание.

Разработанные ПО «Спецнефтегаз» и МНПО «Спектр» магнитные снаряды-дефектоскопы могут не зарегистрировать дефекты в отдельных случаях глубиной 20 % и более. Чем крупнее дефекты, которые могут пропустить снаряды-дефектоскопы, тем меньше срок до следующего пропуска. В связи с этим в перспективе необходимо создание снарядов-дефектоскопов высокого разрешения, которые при сохранении технологических преимуществ магнитных снарядов могли бы выявлять более мелкие дефекты. Фирма «Газприборавтоматикасервис» изготовила комплексные снаряды-дефектоскопы для трубопроводов диаметром до 1420 мм, позволяющие выявлять стресс-коррозионные и коррозионные дефекты, с чувствительностью на порядок выше ранее применявшихся.

Все выявленные дефекты в процессе послемонтажного обследования должны быть ликвидированы. При ремонте труб рекомендуется использовать современные эффективные методы: герметизацию дефектов анаэробными герметиками, упрочнение самополимеризующимися композиционными материалами, применение сварных муфт.

Анаэробные герметики, заполняя дефекты и полимеризуясь, надежно изолируют их от внешней агрессивной среды, предотвращая дальнейшее развитие дефектов по механизму коррозии и стресс-коррозии.

Эффективной является технология ремонта с применением муфт, заполняемых эпоксидной смолой, в этом случае уровень ремонтных напряжений значительно ниже пороговых значений, а долговечность ремонта увеличивается в 5...10 раз [60].

Для снижения роста числа аварий необходимо создание в эксплуатирующих организациях специализированных бригад по послемонтажному обследованию трубопроводов, оснащенных необходимыми техническими средствами обследования и обеспечение централизованной подготовки специалистов, а также продолжение исследований по изучению механизмов и причин отказов [44].

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте направления повышения надежности в области совершенствования испытаний.
2. Какие направления можно использовать при выборе трасс трубопроводов для снижения аварийности?
3. Какие направления повышения надежности могут быть реализованы в области оптимального выбора трубных сталей?
4. В чем опасность превышения уровня напряжений?
5. Опишите причины необходимости отказа от применения трассового способа нанесения изоляции.
6. Какие причины препятствуют развитию внутритрубного обследования?
7. С какой целью необходимо ограничивать уровень ремонтных строительных напряжений трубной стали?
8. Какой принцип должен быть положен в основу исключения отказов вследствие отслоений изоляционных покрытий?
9. Какие методы ремонта выявленных дефектов рационально применять?
10. Какие направления необходимо реализовать в области внутритрубной диагностики?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система трубопроводного транспорта России имеет целый ряд особенностей. Она построена, в основном, из труб большого диаметра 720...1420 мм, составляющих 60 % общей длины трубопроводов, работающих на повышенном давлении (до 7,4 МПа).

Специальное внимание необходимо уделить линейной части трубопроводов, которая эксплуатируется в разнообразных сложных условиях. Опыт эксплуатации показывает, что наиболее распространенной причиной непроектных режимов работы и отказов является брак и низкий уровень контроля состояния в процессе строительства. По данным статистики, одной из основных причин аварии на подземных трубопроводах являются нарушения правил выполнения строительно-монтажных работ, причем порядка 20 % повреждений трубы происходит еще до укладки трубы в грунт, большая часть коррозионных отказов и разрывов трубы является следствием неправильного выбора технических решений, либо недоучетом факторов взаимодействия трубопровода с окружающей средой.

В связи со сказанным выше, исследования, посвященные анализу методов контроля технического состояния трубопроводных конструкций на стадии строительно-монтажных работ и приемочных испытаний, представляются весьма актуальными.

Настоящее пособие посвящено исследованию комплекса вопросов, связанных с разработкой методов диагностирования трубопроводных конструкций на стадии строительства и приемки в эксплуатацию, подвергающихся совместному многофакторному воздействию строительно-технологических и весовых случайных нагрузок, и методов оценки их надежности для определения условий последующей безопасной эксплуатации трубопроводной конструкции. В работе изложены как общие подходы к обеспечению надежности и организации диагностики линейной части магистрального трубопровода на стадии строительно-монтажных работ, так и более конкретные:

- диагностика на стадии проектирования;
- контроль на стадии подготовительных и земляных работ;
- входной контроль труб и соединительных деталей, сварных соединений и изоляционных покрытий;
- контроль напряженно-деформированного состояния металла трубопровода;
- испытание и приемка в эксплуатацию законченного строительством трубопровода;
- послемонтажный контроль трубопроводов;
- мероприятия по предупреждению отказов и повышению уровня надежности.

К настоящему времени по вопросам оценки надежности безопасности трубопроводов в отрасли появились методические и научно-практические пособия. В то же время работ, посвященных изучению поведения таких конструкций с учетом влияния строительно-монтажных дефектов и нагрузок, весьма мало. Однако, судя по публикациям последних лет, в настоящее время эта об-

ласть механики трубопроводных конструкций находится в стадии интенсивного развития, хотя основная часть опубликованных работ посвящена исследованию конструктивной надежности и остаточного ресурса магистральных газопроводов на основании комплексной диагностики их состояния в процессе эксплуатации.

В пособии, предлагаемом вниманию читателей, авторы предприняли попытку осветить ряд важных вопросов, касающихся оценки состояния и определения надежности линейной части магистральных трубопроводов на стадии их строительства.

Библиографический список

1. *Новиков В.Ф., Яценко Т.А., Бахаров М.С.* Зависимость коэрцитивной силы малоуглеродистых сталей от одноосных напряжений // Дефектоскопия. 2001. № 11. С. 51—57.
2. *Абрамян С.Г., Савеня С.Н., Савеня А.А.* Методы микробиологической диагностики стресс-коррозии // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Техн. науки. 2006. — Вып. 6 (20). С. 159—162.
3. *Мясников В.А.* Оценка параметров конструктивной надежности длительно эксплуатируемых трубопроводов Западной Сибири : автореф. ... канд. техн. наук. — Тюмень : Изд-во «Нефтегазовый университет», 2004. 35 с.
4. *Гареев А.Г., Иванов И.А., Абдуллин И.Г.* Прогнозирование коррозионно-механических разрушений магистральных трубопроводов // Научный, технический, социальный вклад газовиков XX века в развитие научно-технического прогресса. М. : РАО «Газпром», предприятие «Сургутгазпром». 1997. 169 с.
5. *Савеня С.Н., Савеня А.А.* Методы диагностики стресс-коррозионных повреждений трубных сталей // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Техн. науки. 2006. — Вып. 6 (20). С. 44—47.
6. *Абдуллин И.Г., Гареев А.Г., Мостовой А.В.* Диагностика коррозионного растрескивания трубопроводов. Уфа : Гилем, 2003. 99 с.
7. *Гареев А.Г., Мостовой А.В.* Прогнозирование и диагностика коррозионного растрескивания магистральных трубопроводов // Материалы двенадцатой юбилейной Международной деловой встречи «Диагностика—2002». М. : ИРЦ Газпром, 2003 г.
8. *Гусаков А.А.* Организационно-технологическая надежность строительного производства. М. : Стройиздат, 1974. 254 с.
9. *Иванцов О.М.* Надежность строительных конструкций магистральных трубопроводов. М. : Недра, 1985. 231 с.
10. *Абрамян С.Г., Атопов В.И., Горонкина Т.М.* Обеспечение экологической надежности строительного производства: учеб. пособие ; ВолгГАСА. — Волгоград, 2000. 82 с.
11. *Абрамян С.Г., Атопов В.И.* Оптимизация технологии и организации капитального ремонта магистральных трубопроводов: учеб. пособие ; ВолгГИСИ. Волгоград, 1992. 72 с.
12. *Лубенский С.А.* Обследование и ремонт магистральных газопроводов, подверженных КРН // Семинар по коррозионному растрескиванию трубопроводов под напряжением. М. : ИРЦ Газпром, 1999. С. 132—142.
13. Инструкция по неразрушающим методам контроля качества сварных соединений при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов. СТО Газпром. М. : ВНИИГАЗ, 2006. 126 с.
14. Прогнозирование остаточного ресурса газопроводов по структурному состоянию металла / А.С. Кузьбожев, И.Н. Бирилло, Ю.А. Теплинский и др. // НТС Транспорт и подземное хранение газа. М. : ИРЦ Газпром, 2002. № 6. С. 117—121.
15. *Макаренко В.Д.* Надежность нефтегазовых систем. М. : Нефть и газ, 2006. 828 с.

16. *Киченко С.Б.* Метод оценки степени опасности локальных дефектов на поверхности трубопроводов // Безопасность труда в промышленности. 2001. № 6. С. 9—11.
17. Методические указания по диагностическому обследованию линейной части магистральных газопроводов // СТО Газпром 2-2.3-095—2007. М. : ВНИИГАЗ, 2007. 216 с.
18. *Махутов Н.А.* Прочность конструкций при малоцикловом нагружении. М. : Наука, 1983. 272 с.
19. *Маршаков И.К.* Анодное растворение и селективная коррозия металлов М. : Недра, 1988. 206 с.
20. *Нургалиев Д.М., Митрофанов А.В., Кириченко С.Б.* Сущность и принципы классификации дефектов типа «коррозионная язва» на допустимые и недопустимые, как способ выбора критерия для оценки необходимости ремонта поврежденных коррозией участков трубопровода // НТЖ «Защита от коррозии и охрана окружающей среды». М. : ВНИИОЭНГ, 1997. № 3. С. 2—7.
21. *Решетников А.Д.* Повышение эффективности ремонта газопроводов в условиях обводненной и заболоченной местности // Обз. информ. Сер. : Ремонт трубопроводов. М. : ИРЦ Газпром, 2001. 94 с.
22. Прямой количественный метод оценки действия биоцидов на *Pseudomonas fluorescens* на различных питательных средах / В.Б. Родин, С.К. Жиглецова, В.С. Кобелев и др. // Прикл. биохим. микробиол., 2000. Т. 36. № 6. С. 99—122.
23. Диагностика технического состояния газопроводов. Стандарт предприятия. Методика комплексного обследования участков магистральных газопроводов по результатам пропуска внутритрубного дефектоскопа / СТП 8828-160-01. Ухта, 2001. 166 с.
24. *Бакиев Т.А., Сандаков В.А.* К обеспечению промышленной безопасности объектов газоснабжения с учетом замедленного разрушения стали // Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности объектов трубопроводного транспорта углеводородного сырья : Материалы научно-практической конференции. Уфа : Транстэк, 2004. С. 20—23.
25. ГОСТ 9901—89. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Испытание на коррозионное растрескивание при одноосном напряжении / М. : Изд-во стандартов, 1999. 36 с.
26. *Селезнев В.Е., Алеших В.В., Клишин Г.С.* Методы и технологии численного моделирования газопроводных систем. М. : КомКнига, 2005. 323 с.
27. *Мишин В.М.* Разработка и применение критериев локального разрушения для оценки и разделения влияния охрупчивающих факторов сталей : автореф. ... д-ра техн. наук. М. : Изд-во Центрального научно-исследовательского института черной металлургии им. И.П.Бардина, 2007. 43 с.
28. *Гетман А.Ф.* Неразрушающий контроль и безопасность эксплуатации сосудов и трубопроводов давления. СПб : Изд. дом «Питер», 2001. 288 с.
29. *Полянский Р.П.* Трубы для нефтяной и газовой промышленности за рубежом. М. : Недра, 1979. 216 с.
30. *Канайкин В.А., Патраманский Б.В., Лоскутов В.Е.* Опыт эксплуатации и технической диагностики магистральных газопроводов с дефектами КРН // Материалы совещания ОАО «Газпром». М. : ИРЦ Газпром, 2002. С. 122—134.
31. Инструкция по оценке дефектов труб и соединительных деталей при ремонте и диагностировании магистральных газопроводов РД Газпром. М. : Газнадзор, 2006. 192 с.
32. *Бакиев Т.А., Сандаков В.А.* Некоторые особенности замедленного разрушения газопроводных сталей // Современные проблемы химии, химической технологии и экологической безопасности : Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Уфа : Гилем, 2004. С. 315—316.

33. Диагностика и прокладка трубопроводов / Рекламный проспект «Газпромстройинжиниринг». Сканер-дефектоскоп «АВТОКОН-МГТУ» // М. : Снабженец № 14 (513), апрель 2006 г. С. 9—11.

34. *Абдуллин И.Г., Гареев А.Г., Мостовой А.В.* Коррозионно-механическая стойкость нефтегазовых трубопроводных систем. Уфа : Гилем, 1997. 177 с.

35. *Клюев В.В., Матвеев В.Б.* Неразрушающий контроль и диагностика : Справочник. М. : Машиностроение, 1998. 656 с.

36. Инструкция по магнитному контролю линейной части магистральных газопроводов / ВРД 39-1.11-021—2001 М. : ВНИИГАЗ, 2001. 86 с.

37. *Галиуллин З.Т.* Переиспытание и комплексное обследование магистральных газопроводов, подверженных стресс-коррозии // ОИ Сер. : Транспорт и подземное хранение газа. М. : ИРЦ Газпром, 1996. 35 с.

38. Инструкция по классификации стресс-коррозионных дефектов по степени их опасности / ВРД 39-1.10-032—2001 // ВНИИГАЗ. М. : 2001. 22 с.

39. *Бутиков Ю.А., Чура Н.И., Широченский С.И.* Современные дистанционные методы и аппаратура контроля утечек // ОИ Сер. : Автоматизация, телемеханизация и связь в газовой промышленности. М. : ИРЦ Газпром, 1995. 43 с.

40. *Лапынин Ю.Г., Савеня С.Н., Савеня А.А.* Анализ факторов стресс-коррозионного разрушения трубопроводов // Альманах Волгоградского отделения международной академии авторов научных открытий и изобретений. Волгоградское изд. Госуниверситета, 2007. С. 163—166.

41. *Лапынин Ю.Г., Люкишин И.В., Савеня С.Н.* Диагностика трубопровода на стадии зарождения дефекта // Альманах Волгоградского отделения международной академии авторов научных открытий и изобретений. Волгоградское изд. Госуниверситета, 2005. С. 256—266.

42. *Велиюлин И.И., Решетников А.Д., Голенко Ю.В.* Новая технология ремонта газопроводов по данным внутритрубой диагностики // Материалы Десятой Юбилейной Международной деловой встречи «Диагностика—2000». М. : ИРЦ Газпром, 2001. С. 166—172.

43. *Лапынин Ю.Г., Савеня А.А., Савеня С.Н.* Оптико-телевизионные системы для диагностики дефектов металла нефтегазовых сооружений // Альманах Волгоградского отделения международной академии авторов научных открытий и изобретений. Волгоградское изд. Госуниверситета, 2006. С. 196—198.

44. *Гаррис Н.А., Аскарлов Г.Р., Исмаилов И.Г.* Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) – синергетическое явление // Прикладная синергетика—II. Труды международной научно-технической конференции, посвященной памяти Ильи Пригожина (1917—2003). Том 2. 20—22 окт. 2004 г. Уфа : Изд-во УГНТУ, 2004. С. 130—143.

45. *Лапынин Ю.Г., Савеня А.А., Савеня С.Н.* Анализ методик оценки ресурса трубопроводных систем // Альманах Волгоградского отделения международной академии авторов научных открытий и изобретений. Волгоградское изд. Госуниверситета, 2007. С. 167—171.

46. *Басиев К.Д., Бигулаев А.А., Кодзаев М.Ю.* Механо-коррозионные процессы в грунтах и стресс-коррозия в магистральных газопроводах // М. : Вестник ВНИЦ, 2005. № 1. С. 4—22.

47. *Дьяченко С.С.* Образование аустенита в железоуглеродистых сплавах // Изв. СО АН СССР. Сер. : Техн. науки. 1987. № 4. Вып. 1. С. 34—38.

48. *Халимов А.Г.* Техническая диагностика и оценка ресурса трубопроводов и аппаратов Алма-Ата : Наука. 2001. 410 с.

49. *Форрест П.* Усталость металлов. М. : Машиностроение, 1968. 352 с.

50. *Бакиев Т.А., Сандаков В.А.* Методика расчета замедленного разрушения металла труб систем газоснабжения // Современные проблемы химии, химической технологии и экологической безопасности : материалы Всероссийской научно-практической конференции. Уфа : Гилем, 2004. С. 312—324.

51. Митрофанов А.В., Кириченко С.Б. Принципы прогнозирования работоспособности подземных трубопроводов по результатам электрометрических и внутритрубных обследований // Практика противокоррозионной защиты. 2000. № 4(18). С. 18—32.
52. Повышение экологической безопасности при использовании биоцидов для борьбы с коррозией, индуцируемой микроорганизмами / С.К. Жиглецова, В.С. Кобелев, Н.А. Акимова и др. // Прикл. микробиол. и биохим. 2000. Т. 36. № 6. С. 116—126.
53. Камаева С.С. Коррозионная агрессивность грунта с учетом микробиологических факторов. Способы определения // Обз. информ. Сер. : Защита от коррозии оборудования газовой промышленности. М. : ИРЦ Газпром, 2000. 164 с.
54. Туманов А.Т. Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов // Справочное пособие. М. : Машиностроение, 2001. 640 с.
55. Морозов Е.М. Техническая механика разрушения. М. : Изд-во ДНТП, 1997. 395 с.
56. Зайнуллин Р.С. Обеспечение работоспособности оборудования в условиях механической поврежденности. М. : Мир, 1997. 428 с.
57. Тухбатуллин Ф.Г., Галлиуллин З.Т., Карпов С.В. Обследование и ремонт магистральных газопроводов, подверженных КРН // Обз. информ. Сер. : Ремонт трубопроводов М. : ИРЦ Газпром, 2001. 98 с.
58. Арабей А.Б. Анализ основных достижений в диагностике КРН за 1999—2000 гг. // Материалы совещания ОАО «Газпром». «Опыт эксплуатации и технической диагностики магистральных газопроводов с дефектами КРН» (г. Югорск, октябрь 2001 г.). М. : ИРЦ Газпром, 2002. С. 186—191.
59. Лубенский С.А. Коррозионная стойкость трубных сталей в среде тионовых сероокисляющих бактерий // Защита от коррозии и охрана окружающей среды, 1996. № 2. С. 7—10.
60. Collins D. Damage to materials in constructions. The 58-th autumn symposium IGE, 24-25 November 1992 у., London. p. 88—94.

Список рекомендуемой литературы

1. Богданов, Е.А. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования : учеб. пособие / Е.А. Богданов. М. : Высш. шк., 2006. 278 с.
2. Зайнуллин, Р.С. Ресурс элементов трубопроводных систем / Р.С. Зайнуллин. М. : Нефть и газ, 2005. 836 с.
3. Микаэлян, Э.А. Повышение качества, обеспечение надежности и безопасности магистральных трубопроводов / Э.А. Микаэлян. М. : Наука, 2001. 640 с.
4. Селезнев, В.Е. Численный анализ прочности подземных трубопроводов / В.Е. Селезнев, В.В. Алешин, Г.С. Клишин. М. : КомКнига, 2002. 360 с.

Учебное издание

Абрамян Сусанна Грантовна, **Савеня** Сергей Николаевич, **Савеня** Алёна Александровна

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СИСТЕМ
ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА
НА ВСЕХ ЭТАПАХ СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Учебное пособие

Начальник РИО *О.Е. Горячева*

Зав. редакцией *М.Л. Песчаная*

Редактор *Р.В. Худадян*

Компьютерная правка и верстка *Ю.С. Андреева*

Корректор *М.М. Сафронова*

Подписано в свет 24.05.2011.

Гарнитура Таймс. Уч.-изд. л. 12,3. Объем данных 63,5 МБ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»

Редакционно-издательский отдел

400074, Волгоград, ул. Академическая, 1