

А.А. ЧУХНОВ,
начальник службы электрохимической защиты,
связи, метрологии и электрофизических измерений,
УП «Витебскоблгаз»

А.П. АНДРИЕВСКИЙ,
генеральный директор ГП «НТПШГУ»

О.П. ШТЕМПЕЛЬ,
к.т.н., доцент кафедры трубопроводного транспорта и гидравлики
Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой

А.Н. ЯНУШОНОК,
старший преподаватель кафедры трубопроводного транспорта и гидравлики
Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ТРУБ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЙ ИХ СТРУКТУРЫ И ОСНОВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Анализ условий эксплуатации, материальной базы и действующего напряжения в магистральных и распределительных газопроводах показал, что в распределительных сетях низкого давления избыточное давление не вызывает таких значительных напряжений в металле труб, как в магистральных трубопроводах. Очевидно, что при меньших напряжениях процесс накопления повреждений протекает медленнее, а это, в свою очередь, снижает скорость деградации свойств распределительных газопроводов. Таким образом, необходима реальная оценка фактического технического состояния стальных подземных газопроводов, выработавших нормативный срок службы (определение состояния металла труб и их сварных соединений, изоляционного покрытия и др.).

Через газораспределительную систему Республики Беларусь потребителям ежегодно поставляется порядка 18–19 млрд м³ природного газа. В настоящее время общая протяженность распределительных газовых сетей составляет около 65 тыс. км, в том числе 35 тыс. км полиэтиленовых и 30 тыс. км стальных газопроводов.

Газификация Республики Беларусь как процесс создания в масштабе страны разветвленной распределительной системы для снабжения потребителей газообразным топливом осуществляется с 6 ноября 1958 года. Таким образом, сегодня фактический срок эксплуатации многих стальных газопроводов превысил нормативный – 40 лет. До достижения данного срока газопроводы подлежат техническому обследованию, а при нахождении в эксплуатации свыше 40 лет (в среднем

по системе это 17 % от общей протяженности стальных газопроводов) – техническому диагностированию для принятия решения о продлении назначенного ресурса или реконструкции (замены) [1].

Если магистральные газопроводы подвергаются периодической внутритрубной диагностике, объективно позволяющей выявить дефекты и накопившиеся повреждения, то для распределительных сетей широкое использование данных методов практически невозможно из-за сильной разветвленности, малых диаметров и давлений, которые не позволяют пропускать диагностические снаряды в потоке газа. Диагностическое обследование распределительных сетей путем тотального вскрытия также не представляется возможным, поскольку затраты будут сравнимы со строительством новой сети. К тому

же такое обследование является в организационном плане сложным мероприятием в связи с необходимостью сохранения комфортного социального положения населения.

Существующая система комплексных приборных обследований позволяет оценивать состояние распределительных газопроводов на основании выборочных данных. Казалось бы, это ведет к повышению рисков их эксплуатации по сравнению с магистральными. Между тем именно этот метод является наиболее целесообразным способом определения состояния распределительных газовых сетей в процессе эксплуатации.

Таким образом, продление срока службы газопроводов, прослуживших более 40 лет, позволит снизить эксплуатационные затраты на обслуживание в связи с тем, что затраты на техническое обследование суще-

ственно ниже затрат на техническое диагностирование.

Срок службы газопроводов, проработавших длительное время, возможно продлить по результатам оценки технического состояния. Для этого следует разработать программу диагностирования и оценки изменений структуры и основных механических свойств труб распределительных газопроводов [2].

В целях поиска закономерностей изменений состояния металла труб распределительных газопроводов, находящихся в длительной эксплуатации, авторы провели ряд исследований.

Анализ технического состояния стальных труб подземных газопроводов

Для оценки фактического состояния стальных подземных газопроводов, эксплуатируемых 60, 55, 50, 45, 40, 35 и 30 лет, из них были вырезаны 49 фрагментов труб длиной 1,5–2,0 м со сварным соединением в середине. Минимальная толщина стенки составляла 4 мм, диаметр – не менее 89 мм. Для исследований выбирали трубы, которые эксплуатировались в наихудших условиях. К таковым следует отнести малый радиус изгиба, что ведет к повышенным напряжениям в металле труб в процессе эксплуатации, а также прокладку в грунтах с высокой коррозионной активностью.

Образцы труб и сварных соединений газопроводов испытывали на растяжение, статический и ударный изгиб, также проводили металлографические исследования.

Отбор проб для испытаний на растяжение и ударный изгиб выполняли по ГОСТ 7564-97 [3]. Использовали стандартные образцы, изготовленные из объектов исследования.

Испытания на одноосное статическое растяжение основного металла и сварного соединения трубы проводили на продольных плоских образцах без головок: основного металла – по ГОСТ 10006-80 (приложение 2, чертёж 1) [4]; сварного соединения – по ГОСТ 6996-66 (тип XII, чертёж 20) [5]. Размеры образцов: ширина – 20 мм; длина – 250 мм; тол-

щина стенки равна толщине стенки основного металла и стенки трубопровода без снятия усиления соответственно.

В ходе испытаний на одноосное статическое растяжение основного металла труб устанавливали предел прочности σ_b , предел текучести $\sigma_{0,2}$, относительное удлинение δ_5 . При аналогичных испытаниях сварных соединений эти показатели не определяли. Испытания на растяжение проводили на разрывной машине ZD 10/90 №55/72.

Согласно ГОСТ 9454-78 [6] испытания на ударный изгиб выполняли на маятниковом копре МК-300 с определением ударной вязкости KCV материала на образцах длиной 55 мм, шириной 8 мм с V-образным концентратором напряжений. Изучали образцы, вырезанные из сварного шва, околошовной зоны и основного металла справа и слева от шва.

Сварные соединения испытывались на статический изгиб согласно ГОСТ 6996-66 [5] с использованием разрывной машины РМ-50.

Макро- и микроструктуру металла оценивали по стандартным методикам [7] с помощью металлографического микроскопа Nikon Epiphot. Твердость определяли на твердометре ТК-2.

Результаты исследований нанесли на временную шкалу. Полученные зависимости анализировали для экстраполяции изменений механических свойств металла, возникающих в течение времени [8]. Это позволило определить, за какой временной период свойства металла достигают значений, которые действующей технической нормативной документацией определены как недопустимые.

Оценка возможности потери герметичности газопроводов

Предварительные результаты исследования позволяют говорить о том, что ресурс газопроводов с превышенным сроком эксплуатации в настоящий момент не исчерпан.

Так, например, по критерию возможности потери герметичности вследствие развития равномерных коррозионных повреждений можно



а) образец № 1



б) образец № 2

Рис. 1. Коррозионное разрушение отдельных участков поверхностных слоев металла труб, увеличение $\times 100$

было ожидать значительного утонения стенки труб газопроводов. Исследованные участки действительно имели некоторые коррозионные повреждения (рис. 1), однако толщина стенки находилась в допустимых пределах. Также не была выявлена зависимость изменения толщины стенки от срока эксплуатации. Это объясняется наличием изоляционного покрытия и перманентным воздействием электрохимической защиты, что значительно замедляет скорость коррозии [9].

Таким образом, исследования показали, что при должном контроле мест возможных локальных коррозионных повреждений (действие блуждающих токов, биокоррозия и др.) газопроводы могут прослужить еще длительное время.

Исследование микро- и микроструктуры металла

Исследование микро- и микроструктуры металла труб и их сварных соединений показывает, что они имеют значительное количество дефектов, появившихся на этапе изготовления конструкции. Это неметаллические включения, поры, подрезы, смещения кромок и т.д. (рис. 2).



а) образец № 3, ×100



б) образец № 4, ×100



в) образец № 5, ×50

Рис. 2. Дефекты сварных швов, выявленные при исследовании нетравленных шлифов металла

Следует отметить, что, несмотря на рост количества данных дефектов, отказов газопроводов за 60 лет эксплуатации не наблюдалось. Это обусловлено низкими напряжениями в металле труб от внутреннего давления и стабильным тепловым режимом эксплуатации с незначительными колебаниями температуры, находящейся в области положительных значений.

Значимую роль в деградации структуры металла при длительной эксплуатации стальных трубопроводов в «щадящих» условиях (без нагревов до температур выше 250–300 °С и существенных нагрузок, способных вызвать даже незначительные деформации материала) играет процесс сфероидизации перлита, который мы можем наблюдать на представленной микроструктуре образца № 8 (рис. 3, в). У других образцов данный процесс также наблюдается, но в разной

стадии развития (явно выраженное пластинчатое строение зерен перлита не выявлено) [10].

Опасность данных дефектов с точки зрения отказов газопроводов по критерию потери прочности будет видна по итогам механических испытаний. Первые неполные данные о результатах испытаний на статическое растяжение сварных соединений показывают, что временное сопротивление на разрыв, как правило, достигает не менее 420 МПа (максимальные значения – до 500 МПа), за исключением отдельных образцов, у которых этот показатель составляет 320 МПа и более. Испытания второго образца из той же вырезки показали допустимые значения, что в данном случае объясняется скоплением и развитием существующих локальных дефектов при приложении нагрузки. При этом в целой массе металла пониженные значения временного сопротивления будут компенсированы находящимся рядом металлом, и статическая нагрузка не вызовет разрушения конструкции.

Таким образом, несмотря на высокую дефектность, ресурс трубопроводов по критерию снижения прочностных показателей остается достаточно высоким, а незначительные нагрузки в виде избыточного внутреннего давления не смогут привести к разрыву.

Оценка пластичности и ударной вязкости металла сварных соединений

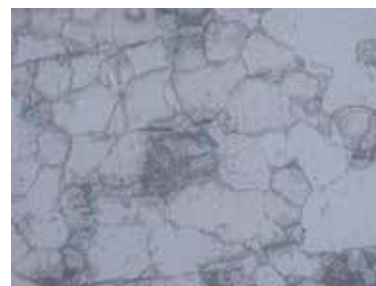
Немаловажным является изучение пластичности металла сварных соединений. Предварительные данные испытаний на статический изгиб свидетельствуют о соответствии угла загиба нормативным требованиям для большинства испытанных образцов (85 %). Некоторое снижение пластичности может представлять опасность при значительных изгибающих нагрузках, например, в случае проведения ремонтных работ с подъемом газопровода. Однако в обычных условиях эксплуатации, когда подобные нагрузки отсутствуют, а значительных подвижек грунта не наблюдается, разрушение газопровода из-за снижения пластичности не произойдет.



а) образец № 6



б) образец № 7



в) образец № 8

Рис. 3. Степень деградации структуры металла труб: а – минимальная, б – средняя; в – максимальная, увеличение ×500

Надежность конструкции также определяется показателями комплексного параметра – ударной вязкости. Даже тогда, когда нормативной документацией не предъявляются требования к данному показателю (как в случае с газопроводами с толщиной стенки менее 5 мм), его изменение в процессе эксплуатации, согласно [11], будет свидетельствовать о возможности сопротивления ударным нагрузкам и распространению трещин.

Испытания проводили с использованием копра с максимальной энергией удара 150 Дж на образцах с V-образным надрезом при температуре –20 °С. Несмотря на столь жесткие условия, результаты исследования показывают, что большинство экспериментальных значений ударной вязкости находятся в пределах 80–120 Дж/см². У отдельного образца значения этого

показателя были ниже рекомендуемых 39,2 Дж/см² [10], что также может быть обусловлено имеющимися дефектами и требует более детального рассмотрения. В целом испытания заранее были запланированы для условий более жестких по сравнению с условиями эксплуатации, в которых температура газопровода не опускается ниже -5 °С.

Таким образом, результаты исследования ударной вязкости металла свидетельствуют об имеющемся ресурсе газопровода по этому критерию [12].

Выводы

Исследования изменений структуры и основных механических свойств металла труб распределительных газопроводов, находящихся в длительной эксплуатации, показали, что они находятся в хорошем состоянии и имеют достаточный ресурс для продления эксплуатации, в том числе трубопроводы, которые эксплуатируются 60 лет, – по своим механическим свойствам они мало отличаются от новых.

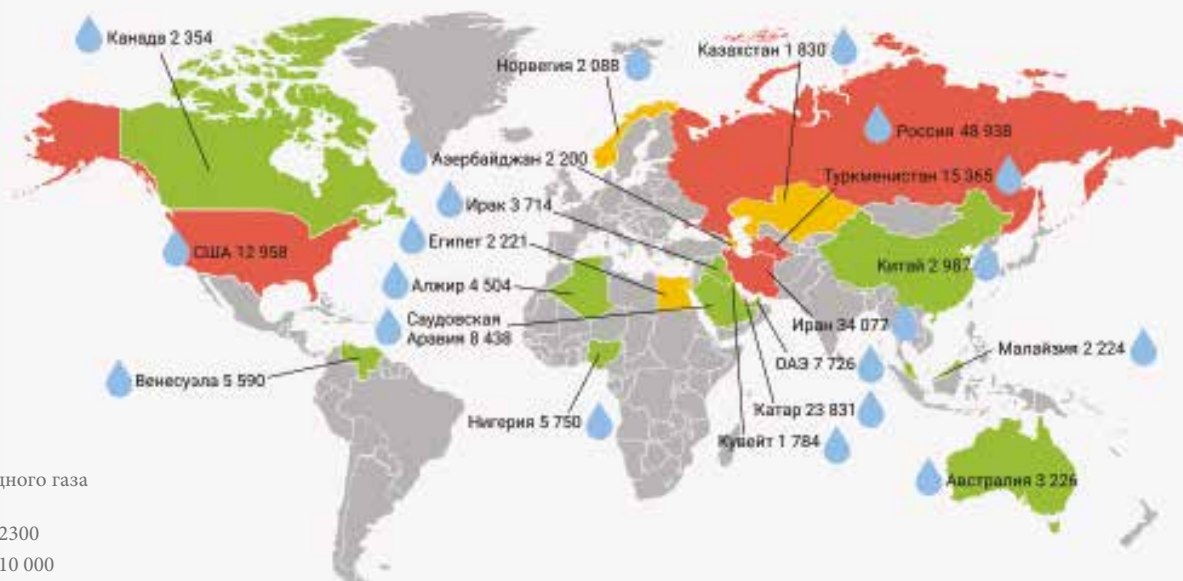
Исходя из этого можно говорить об экономической целесообразности проведения комплексного приборного обследования, а не диагностики состояния объектов газораспределительных сетей. Такой подход позволит продлить срок службы газопроводов, снизить эксплуатационные затраты на обслуживание газораспределительных сетей и повысить уровень социального благополучия населения за счет сокращения количества земляных работ на придомовых территориях.

Список литературы

1. Правила по обеспечению промышленной безопасности в области газоснабжения Республики Беларусь: постановление М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 02 февр. 2009, № 6. – Минск: ИИЦ ОАО «Экономэнерго», 2018. – 178 с.
2. Горицкий, В.М. Диагностика металлов / В.М. Горицкий. – М.: Metallurgizdat, 2004. – 408 с.
3. Прокат. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний: ГОСТ 7564-97. – Введ. 01.06.1999. – Минск: Изд-во стандартов, 2009. – 16 с.
4. Трубы металлические. Метод испытания на растяжение: ГОСТ 10006-80 (ИСО 6892-84). – Введ. 01.07.1980. – М.: Стандартинформ, 2010. – 16 с.
5. Сварные соединения. Методы определения механических свойств: ГОСТ 6996-66 (ИСО 4136-89, ИСО 5173-81, ИСО 5177-81). – Введ. 01.01.1967. – М.: Стандартинформ, 2006. – 48 с.
6. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатных и повышенных температурах: ГОСТ 9454-78. – Введ. 01.01.1979. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 12 с.
7. Лившиц, Б.Г. Металлография: учебник для вузов / Б.Г. Лившиц. – 3-е изд. – М.: Металлургия, 1990. – 236 с.
8. Основы научных исследований: учеб. пособие / Л.В. Камкина [и др.]. – Днепрпетровск: НМетАУ, 2013. – 88 с.
9. Притула, В.В. Подземная коррозия трубопроводов и резервуаров / В.В. Притула. – М.: Акела, 2003. – 225 с.
10. Пантелеенко, Ф.И. Методология оценки состояния материала ответственных металлоконструкций / Ф.И. Пантелеенко, А.С. Снарский. – Минск: БНТУ, 2010. – 196 с.
11. Газораспределение и газопотребление: СН 4.03.01-2019. – Введ. 21.09.2020 (с отменой ТКП 45-4.03-267-2012 (02250), ТКП 45-4.03-257-2012 (02250) (в части проектирования газопроводов из полиэтиленовых труб)). – Минск: Стройтехнорм, 2020. – 113 с.
12. Справочник по конструкционным материалам / Б.Н. Арзамасов, Т.В. Соловьева, С.А. Герасимов; под ред.: Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 640 с.

К сведению

Топ-20 стран по доказанным запасам природного газа, млрд м³



Запасы природного газа

- от 1000 до 2300
- от 2300 до 10 000
- свыше 10 000

Источник: https://aif.by/infographic/glavnye_gazovye_imperii_mira_infografika