

УДК 330.34.1:666.656

В.С.СЕДАК, С.В.НЕСТЕРЕНКО, кандидаты техн. наук, О.Н.СЛАТОВА
Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н.Бекетова
БРОНЕВСКИЙ Ю.Ф.
ООО «Техэкс-Газ», г. Харьков

АНАЛИЗ УТЕЧЕК ГАЗА И ПРИЧИН СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ РАЗРУШЕНИЙ НА ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Рассматриваются проблемы безопасности газоснабжения. Приведен анализ утечек газа и повреждений от коррозии. Исследованы причины стресс-коррозионных разрушений трубопроводов, выявлен механизм образования и факторы коррозионного растрескивания.

Розглядаються проблеми безпеки газопостачання. Наведено аналіз витоків газу та пошкоджень від корозії. Досліджені причини стрес-корозійних пошкоджень трубопроводів, виявлені механізм розвитку та фактори корозійного розтріскування.

The problems of gas supply safety is discussed. Gas leaks and corrosive damages are analysed. The causes of stress-corrosive damages of pipelines and mechanisms and factors of corrosive cracking have been investigated.

Ключевые слова: газоснабжение, газопровод, диагностика, стресс-коррозия, коррозионно-усталостное разрушение.

Газораспределительные системы Украины начали строиться в первой половине прошлого века. Большее число газопроводов уже исчерпало свой нормативный срок – заданный проектный ресурс эксплуатации (30-40 лет). Многолетний опыт эксплуатации систем газоснабжения показывает, что наиболее крупные аварии с тяжёлыми последствиями возникают при эксплуатации свыше нормативного срока газопроводов и средств электрохимической защиты (ЭХЗ). При этом чаще всего - из-за несвоевременного выявления и устранения утечек газа на подземных газопроводах, поврежденных коррозией, поэтому задача повышения эффективности ЭХЗ подземных газопроводов переходит в разряд первоочередных [1].

Состояние газотранспортной системы Харькова характеризуется истощенностью технического ресурса, моральным и физическим износом газопроводов, средств ЭХЗ, задвижек и другого оборудования и сооружений на газопроводах. Только в г. Харькове по состоянию на 01.01.2012г. по срокам эксплуатации общий износ газопроводов составляет 75% (рис. 1).

Анализ исследований вопросов эксплуатации и развития систем газоснабжения Харькова и Харьковской области [2] свидетельствует о том, что для подземных газопроводов характерно физическое и природное старение изоляции и металла труб.

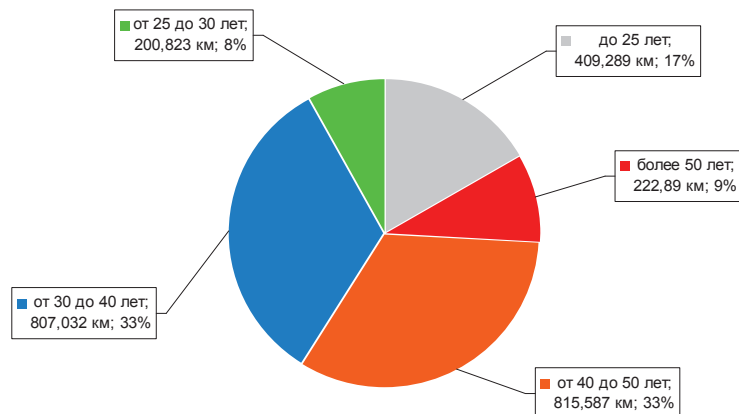


Рис. 1 – Сроки эксплуатации газопроводов в г. Харькове

Интенсивный износ газопроводов связан с естественным физическим старением изоляционного покрытия и металла газопровода, средств электрохимической защиты. Положение усугубляется еще тем, что более 90% газопроводов находятся в опасных зонах влияния блуждающих токов. Исследования показывают [1], что крупные аварии происходили из-за разгерметизации газопроводов по четырем основным причинам: от возможных механических повреждений, от разрывов некачественных сварных стыков, сквозных коррозионных повреждений металла трубы и качества запорной газовой арматуры, что и формирует структуру основных утечек на газопроводах.

Структура утечек (рис. 2) на распределительных газопроводах и динамика изменения количества утечек в региональных системах газоснабжения были исследованы в многочисленных публикациях [1,2,3]. Исследования основных причин утечек газа на подземных газопроводах показали, что характер и причины повреждений трубопроводов за последние 10 лет значительно изменились (рис. 2).

Именно чаще всего коррозия сокращает срок службы газопроводов и создаёт аварийные ситуации, повышает эксплуатационные и ремонтные расходы, ведёт к тяжёлым экологическим последствиям. Неуправляемое разрушение металлических газопроводов – это угроза возникновения техногенных аварий и катастроф. Кроме того, этот тип утечек является доминирующим по числу утечек на распределительных газопроводах. На диаграммах (рис.2) наглядно видно, что основной причиной утечек на газопроводах, является их старение и коррозионное повреждение. Доля утечек сквозных повреждений по причине коррозии тела трубы (рис. 2) в 2011 году составила 73,4 %, тогда как в 2003 году утечки от коррозии составляли только 26% от общего количества утечек.

Анализ известных исследований в данной отрасли [3,4,5] показал, что исследование утечек газа и прогноз разрушений газопроводов по

вине стресс-коррозии не проводился. Одним из самых опасных видов разрушения газопроводов является коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) металла внешней катодно-защищенной поверхности труб.

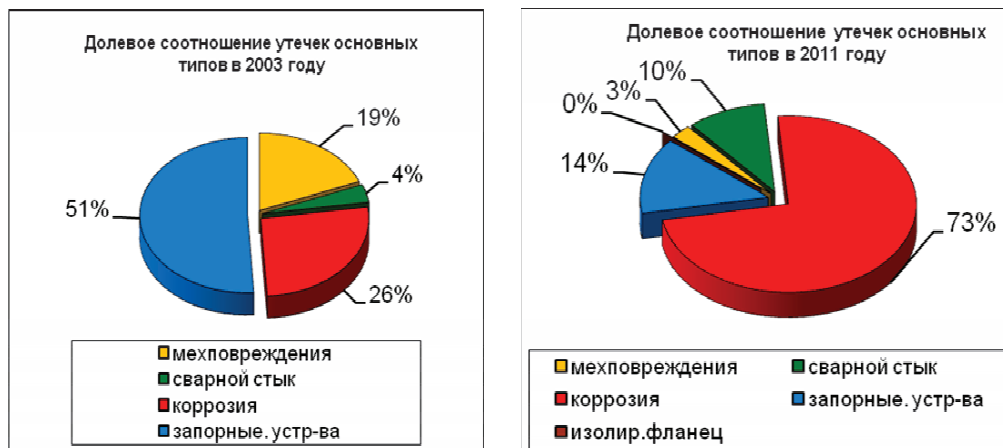


Рис. 2 – Динамика изменения соотношения утечек основных типов С 2003 г. по 2011 г. на распределительных газопроводах в г. Харькове

В настоящее время эта проблема для ряда газотранспортных предприятий стала одной из самых острых в связи с участвовавшими случаями аварий и инцидентов по причине зарождения и развития коррозионных трещин в металле труб. Трагический опыт устранения аварий на газопроводах, не только на территории Украины, но и стран СНГ показывает масштабность катастроф с человеческими жертвами. К огромному сожалению, большинство газовых сетей в Украине с давно истекшим сроком эксплуатации, а это может привести к опасной вероятности возникновения новых техногенных катастроф и такая опасность с каждым днем становится все реальнее

В последние годы отсутствуют публикации по проблеме коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) металла внешней катодно-защищенной поверхности труб и необходимости решения комплекса задач для повышения эффективности защиты трубопроводов от коррозии.

В целом состояние газотранспортной системы удовлетворительное, и она способна обеспечить бесперебойное, безаварийное газоснабжение наших потребителей и главное – транзит газа в Европу. Однако из года в год система стареет, изнашивается, увеличивается количество аварий. Понятно, что это требует все больших усилий, материально-технических ресурсов, чтобы обеспечить постоянное и безаварийное газоснабжение.

Целью данной работы является анализ причин возникновения стресс-коррозионных разрушений на базе данных расследования ава-

рий на газопроводах, происшедших в Харьковской области, других регионах Украины и СНГ.

Судя по данным литературных источников и статистических данных, собранных авторами, КРН развивается под воздействием трех факторов: коррозионной среды, металлургической неоднородности металла трубы и растягивающих напряжений. Большинство фундаментальных исследований по коррозионной усталости основываются на том, что чувствительные участки для питтинговой коррозии и усталости являются одними и теми же. Хорошо известно, что коррозия имеет тенденцию протекать по царапинам, а не в других местах поверхности; усталостные трещины также зарождаются на дефектах поверхности.

Коррозионно-усталостное разрушение вызвано определенными компонентами окружающей среды, которые практически не оказывают значительного влияния на общую коррозию. Для коррозионно-усталостного разрушения характерно наличие большого количества трещин наряду с основной трещиной, по которой произошло разрушение. Если схема напряженного состояния одноосная, то трещины располагаются параллельно друг другу в плоскости, перпендикулярной направлению действия напряжений. При кручении группа трещин исходит из одной точки. Они часто имеют форму перекрестий и звезд, расположенных приблизительно под углом 45^0 к оси кручения. При растрескивании труб, обусловленном действием термических напряжений, наблюдают параллельные периферические трещины, причем часто проявляется вторая система трещин под большими углами к первым, т.е. расположенными параллельно приложенным напряжениям. Упорядоченный характер системы трещин означает, что распространение трещин не зависит от микроструктуры материала, т.е. трещины растут транскристаллитно. Иногда при наличии линий скольжения трещины проходят внутри зерен вдоль этих линий. Но это имеет место только на протяжении очень коротких расстояний, поскольку трещина при своем движении перескакивает с одной линии скольжения на другую (хотя никогда не отклоняется далеко от их основного направления) и в результате имеет зубчатый вид.

Следует отметить, что в отличие от КРН, для коррозионно-усталостного разрушения специфической коррозионной среды не требуется. Время разрушения зависит от числа (а соответственно и частоты) изменений нагрузки и от ее величины. Относительные значения этих параметров изображаются в виде так называемой кривой Велера. При этом результат зависит и от частоты изменений нагрузки, и от формы кривой (синусоидальной, треугольной или квадратичной) этих

изменений. Усталостное разрушение сталей не реализуется, если максимальное значение переменной нагрузки не превышает определенного уровня – предела усталости. Однако четкого уровня предела коррозионной усталости, очевидно, нет.

Коррозионное растрескивание развивается с внешней, катодно-защищенной поверхности труб, под отслоившейся изоляцией, вблизи ее нижней образующей. В качестве коррозионной среды выступают соли угольной кислоты (карбонаты и гидрокарбонаты), образующиеся при воздействии такой катодной защиты. Такая среда пассивирует приэлектродную поверхность трубы и замедляет общую коррозию стали. В местах пробоя пассивирующей пленки возникают участки локальной коррозии и, в частности, КРН.

По данным [6] процесс стресс-коррозионного растрескивания трубопроводов имеет ряд последовательных стадий (рис. 3).



Рис. 3 – Схематическое изображение развития процесса стресс-коррозионного растрескивания стенки трубопровода.

Римскими цифрами обозначены соответствующие стадии

Стадия I – трубопровод находится в исходном состоянии с доброкачественным защитным покрытием.

Стадия II – вода, кислород, углекислый газ диффундируют через защитное покрытие к поверхности металла. В результате начинает формироваться моно- или полимолекулярная пленка воды с растворимыми в ней кислородом и углекислым газом. Образуются условия для подрыва защитного покрытия.

Стадия III – наблюдается дальнейший отрыв защитного покрытия, который облегчается за счет образования водорода и электрохимической деструкции изоляции при катодной защите.

На поверхности металла формируется фазовая пленка раствора электролита, который содержит кислород, углекислый газ и другие компоненты. Пленка электролита насыщается бикарбонат- и карбонат-ионами.

Стадия IV – осуществляется пассивация поверхности трубной стали в карбонат-бикарбонатной среде и образования пассивной пленки, которая состоит с оксидов и карбонатов железа. Пассивная пленка,

которая образуется, тормозит процесс растворения металла. Но в данных условиях пассивное состояние является нестабильным.

Стадия V – образование очагов локальной коррозии – питтингов. Этот процесс осуществляется под влиянием активирующих факторов (присутствие хлорид-ионов и напряжение). При этом осуществляется пробой пассивной пленки.

Стадия VI – под действием растягивающих усилий происходит трансформация питтингов в микротрещины.

Стадия VII – коалисценция микротрещин, которые соединяются в колонии трещин, а потом образуют одну магистральную трещину.

Коррозионную усталость можно классифицировать как особый тип разрушения, которое происходит при воздействии циклически меняющихся напряжений в коррозионной среде. Другими словами, если материал взаимодействует с коррозионной средой в отсутствие окисной пленки или пленки продуктов коррозии, то имеется возможность коррозионно-усталостного разрушения на поверхности образца (рис. 4).

Как показал аналитический обзор данных по отказам газопроводов, металл участков образования и распространения стресс-коррозионных трещин имеет равные прочностные показатели с основным металлом и соответствует требованиям ТУ на поставку труб и, как правило, трещины не имеют жесткой привязки к поверхностным концентраторам напряжений. Характерной особенностью КРН является то, что трещины зарождаются на участках металлической поверхности, не содержащих дефекты, и в стороне от монтажного сварного шва.

Большинство аварий по причине КРН, как правило, происходит на искривленных участках газопроводов под «напряжением», переходах под железными и автомобильными дорогами, а также в 30-километровой зоне компрессорных станций по ходу газа. Металл трубы в этой зоне, кроме контакта с грунтовым электролитом на участках повреждения изоляционного покрытия, подвергается дополнительному воздействию повышенной температуры газа до $+25...35^{\circ}\text{C}$, которая интенсифицирует электрохимические процессы, а также, возможно, высокому уровню вибрации, который может при определенных условиях стать причиной зарождения стресс-коррозионных трещин.

Приоритетными факторами, определяющими возникновение и протекание стресс-коррозии на подземных газопроводах, являются:

- качество металла труб – наличие «плато» скоплений неметаллических включений (НВ) свыше 2-го балла по ГОСТ 1770-70 на отдельных трубах в партии поставки (плавке);

- наличие коррозионно-активной среды, ее доступ к поверхности металла, взаимодействие среды со структурой металла;

- соответствующий уровень действующих напряжений с учетом внутренних остаточных напряжений в структуре металла;
- воздействие почвенных микроорганизмов (прокариот) на «плато» скоплений.

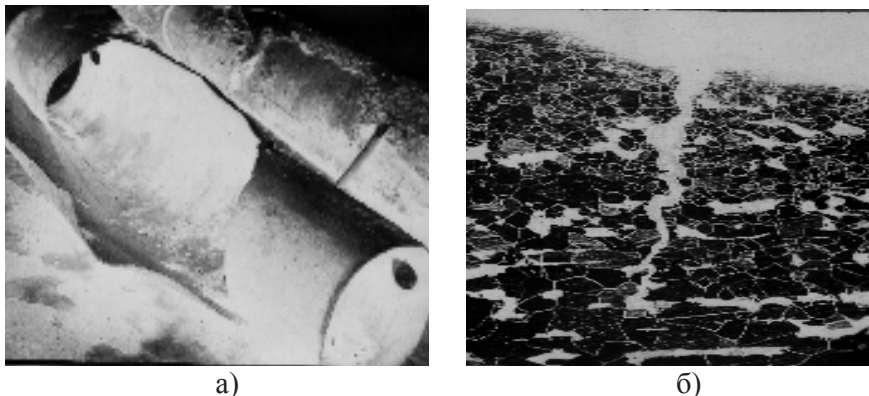


Рис. 4 – а) внешний вид стресс-коррозионного разрушения газопровода;
б) микроструктура металла газопровода подвергнувшегося разрушению $\times 400$

Проблемы продления срока службы газопроводов и обеспечения безопасного и безаварийного газоснабжения потребителей в огромной степени зависят от эффективности мероприятий по защите газопроводов от электрохимической коррозии. Своевременно проведённая высокотехнологическая диагностика коррозионного состояния газопроводов с помощью регистрирующих приборов с программным обеспечением, внедрение методик прогнозирования аварий позволит определить наличие и степень опасности коррозионных процессов на трубопроводах, предсказать их коррозионное поведение в дальнейшем и принять эффективные меры по защите. В конечном итоге это обеспечит безаварийное и безопасное газоснабжение потребителей, продлит срок службы газопроводов и позволит избежать нарушения природного экологического баланса.

1. Сідак В.С. Інноваційні технології в діагностиці та експлуатації систем газопостачання. – Х.: ХНАМГ, 2005. – 226 с.
2. Седак В.С., Супонев В.Н. Анализ аварийных рисков и прогноз отказов систем газоснабжения // Научно производст. журнал «Охрана труда». – 2011. – № 6. – С. 44-47.
3. Шишківський В.А., Каплан С.Ф. Визначення параметрів пошкодження ізоляції трубопроводу // Науково-виробничий журнал «Нафтова і газова промисловість». – 2000. – № 3. – С. 42-44.
4. Самойленко М.І. Функціональна надійність трубопровідних транспортних систем. – Х.: ХНАМГ, 2009. – 184 с.
5. Ориняк І.В., Розгонюк В.В., Тороп В.М., Білик С.Ф. Ресурс, довговічність і надійність трубопроводів. Огляд сучасних підходів і проблемі нормативного забезпечення в Україні // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – № 4. – С. 54-57.
6. Чвірук В.П., Поляков С.Г., Герасименко Ю.С. Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ. – К.: Академперіодика, 2007. – 322 с.

Получено 03.10.2013