

УДК 338.001.36.

DOI: 10.26140/anie-2019-0803-0066

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УСТРАНЕНИЯ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ В ГАЗОПРОВОДАХ

© 2019

Кантор Ольга Геннадьевна, кандидат физико-математических наук, доцент,
старший научный сотрудник сектора экономической безопасности
Нурдаулетов Бакытжан Рахматоллаулы, магистр
Кузеев Искандер Рустемович, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование»
Уфимский государственный нефтяной технический университет
(450044, Россия, Уфа, улица Первомайская, 14, e-mail: 123tmo@mail.ru)

Аннотация. Стабильность поставки газа для потребления в Российской Федерации, а также странами Восточной и Западной Европы во многом зависит от надежности и безопасной работы единой системы газопроводов. Для обеспечения безопасной работы газопроводов под напряжением, не допуская их коррозионного растрескивания, необходимо качественно определять их техническое состояние при использовании современных средств диагностики. Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) на сегодняшний день является наиболее частой причиной отказов на линейной части магистральных газопроводов. В статье обсуждается проблема снижения КРН в газопроводах за счет сравнительного анализа методов его устранения.

Ключевые слова: коррозионное растрескивание под напряжением (КРН), газопроводы, методы устранения КРН, станция катодной защиты (СКЗ), метод вырезки и переизоляции труб, метод закачки композитного материала.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR ELIMINATING STRESS CORROSION CRACKING IN GAS PIPELINES

© 2019

Kantor Olga Gennadevna, candidate of physic - mathematical sciences, assistant professor,
senior researcher of economical security sector
Nurdauletov Bakytzhan Rahmatollauly, master
Kuzeev Iskander Rustemovich, doctor of technical science, professor, Head
of the Department of «Technological machines and equipment»
Ufa State Petroleum Technological University
(450044, Russia, Ufa, street Pervomayskaya, 14, e-mail: 123tmo@mail.ru)

Abstract. The stability of the supply of gas for consumption in the Russian Federation, as well as the countries of Eastern and Western Europe, largely depends on the reliability and safe operation of the unified gas pipeline system. To ensure the safe operation of gas pipelines under voltage, avoiding their corrosion cracking, it is necessary to qualitatively determine their technical condition when using modern diagnostic tools. Stress corrosion cracking (SCC) is by far the most common cause of failures on the linear part of gas pipelines. The problems of SCC in gas pipelines due to a comparative analysis of methods for SCC elimination are discussed.

Keywords: stress corrosion cracking (SCC), gas pipelines, SCC removal methods, cathodic protection station (RMS), pipe cutting and re-insulation method, composite material injection method.

Единая система газоснабжения России является крупнейшей в мире по объему оказываемых товаротранспортных услуг. При этом надежность поставок газа на внутренний рынок, а также в страны ближнего и дальнего зарубежья зависит, прежде всего, от работоспособности магистральных газопроводов (МГ). В последние годы главной проблемой, влекущей нарушение их целостности, является КРН (или стресс-коррозия). Как показывает статистика, большинство аварийных разрушений происходит именно по этой причине. К тому же доля отказов из-за КРН продолжает расти (в 2001 г. – 30 %, в 2005 г. – 42 %, в 2010 г. – до 70 %), а география его проявления расширяется [1].

Работа трубопроводов происходит в сложных условиях, так как они подвергаются различным нагрузкам – внутреннему давлению, осевым растягивающим или сжимающим напряжениям, давлению грунта засыпки и подвижных средств, перепадам температур.

Таблица 1- Величина ущерба при разливах нефти

Класс разлива	Установленный размер ущерба от разлива нефти (рублей)	Установленная масса разлитой нефти
При разливах на местности, во внутренних пресноводных водоемах		
Локальная	Не более 100 тыс.	До 100 т
Муниципальная	Не более 5 млн.	До 500 т
Межмуниципальная	Не более 100 млн.	До 1000 т
Региональная	Не более 300 млн.	До 5000 т
Межрегиональная	Не более 300 млн.	До 5000 т
Федеральная	Более 500 млн.	Свыше 10000 т

Проблема обеспечения надежности трубопроводных

систем актуальна в связи с техногенным воздействием данных систем на окружающую среду, большим количеством аварий и отказов трубопроводного транспорта, приводящих к экономическим потерям и серьезным экологическим последствиям (таблица 1).

Существенные размеры штрафных санкций и сопутствующие экономические потери побуждают компании к превентивным действиям в части поддержания трубопроводного транспорта в работоспособном состоянии. Так, статистика наблюдений за участком трубопровода протяженностью 1150 км на магистральном газопроводе «Ямбург-Елец1», проводимой компанией ООО «Газпром трансгаз Югорск» с 2010 по 2016 годы (таблица 2), показала, что:

– затраты на диагностику за анализируемый период выросли на 80,7 % (средний ежегодный темп их прироста составляет 10,4 %);

затраты на устранение дефектов выросли на 674,8 % (средний ежегодный темп прироста - 40,7 %).

Таблица 2 - Динамика показателей по устранению дефектов на магистральном газопроводе «Ямбург-Елец1» протяженностью 1150 км в 2010-2016 гг.

Показатели	Годы						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Затраты на диагностику, млн. руб.	37,64	32,58	27,50	8,28	6,24	49,17	68,02
Затраты на устранение дефектов, млн. руб.	6,90	20,55	26,78	44,94	51,86	65,63	53,46
Итого затрат, млн. руб.	44,54	53,13	54,27	53,22	58,10	114,81	121,48
Количество устраненных дефектов, ед.	178	982	1235	896	425	565	745

Обращает на себя внимание заметный рост итоговых затрат, имевший место в 2015-2016 гг. (в 1,99 раза в 2015 г. и в 2,09 раза в 2016 г. по отношению к предыдущим го-

дам). В сочетании с анализом удельных затрат (рисунок 1), для которых в период 2014-2016 гг. также сформировалась тенденция заметного роста, это может свидетельствовать либо о возросшей сложности выявляемых дефектов, либо о принципиальном росте стоимости работ по их устранению, что в том числе может являться следствием влияния макроэкономических факторов, одни из которых связан с резким изменением курса рубля по отношению к ведущим мировым валютам в 2014 г.

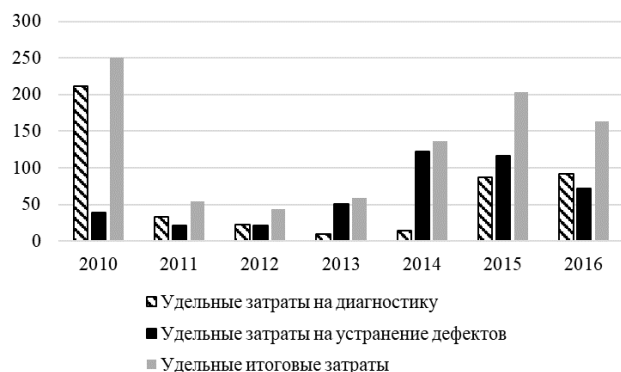


Рисунок 1 - Удельные затраты по устранению дефектов на магистральном газопроводе «Ямбург-Елец1» протяженностью 1150 км в 2010-2016 гг., тыс. руб. / ед.

Для обеспечения безопасной работы газопроводов и нефтепроводов необходимо систематически контролировать их техническое состояние, своевременно выявлять и устранять коррозию. В настоящее время для борьбы с коррозионным растрескиванием применяются следующие методы: вырезка участка подверженного коррозии, переизоляция трубопровода, установка станции катодной защиты (СКЗ).

Реализация технологии ремонта вырезкой, как правило, связана со значительными затратами. Вырезка дефектов и замена участков трубопровода применяется в случае обнаружения недопустимого сужения проходного диаметра нефтепровода, невозможности обеспечения требуемой степени восстановления нефтепровода при ремонте другими методами, экономической нецелесообразности применения других методов ремонта из-за чрезмерной длины дефектного участка.

Известны оценки [2], согласно которым в настоящее время в Российской Федерации около 16 тыс. км трубопроводов нуждается в переизоляции и ремонте. При этом 50% газопроводов отработали от 15 до 40 лет – срок. За такой длительный период пленочное изоляционное покрытие практически полностью теряет свои защитные свойства, что приводит к активным коррозионным процессам.

К преимуществам ремонта с использованием вырезки можно отнести то обстоятельство, что за счет экономии дорогостоящих труб он в 1,5-2 раза экономичнее по сравнению с полной заменой участка. Этот метод зарекомендовал себя как трудоемкий процесс со значительным объемом земляных и строительно-монтажных работ.

Метод с применением станции катодной защиты (СКЗ) является самым простым в реализации. Принцип его работы состоит в том, что для защиты объекта от коррозии необходимо вызвать катодную реакцию и не допустить анодную. Сделать это можно, если искусственно создать отрицательный потенциал на защищаемом объекте. При этом методе обеспечивается высокий уровень защиты трубопроводов, энергетический ресурс СКЗ ничем не ограничивается, а удельное сопротивление грунта оказывает минимальное влияние на качество защитных мероприятий.

Каждый из методов имеет, как свои преимущества, так и недостатки. Вырезка участка подверженного кор-

розии позволяет после его завершения полностью восстановить технологическую операцию на заменяемом участке. Но при этом в силу существенных капитальных затрат велики финансовые вложения. Метод переизоляции труб имеет температурные ограничения по эксплуатации, что ведет к меньшей надежности, а также предполагает проведение земляных и строительно-монтажных работ. Главным критерием станции катодной защиты (СКЗ), является защитный потенциал, при котором скорость коррозии металла в определенных условиях окружающей среды принимает самое низкое (насколько это возможно) значение. Низкая эффективность электрохимической защиты (ЭХЗ) для газопроводов, находящихся в эксплуатации более 20 лет, объясняется ростом «утечки» защитного потенциала и, соответственно, большими затратами на его поддержание в требуемых границах [3].

Бывают ситуации с КРН, в которых очевидна эффективность какого-либо определенного метода. Например, если невозможно устранить дефекты, связанные с КРН, то в таких случаях участок газопровода вырезается. Если же дефекты незначительные, или на газопроводе идет отслоение изоляционных покрытий, то применяется метод переизоляции труб. Но бывают и другие ситуации, в которых целесообразно использовать комбинирование методов. Так, СКЗ наиболее эффективна и экономически целесообразна в сочетании с изоляционными покрытиями. Использование такого способа защиты подземных сооружений почти полностью устраняет коррозионное разрушение, и при относительно небольших затратах удается значительно продлить срок службы подземных трубопроводов.

В каждом отдельном случае требуется проведение анализа эффективности использования определенного метода с учетом не только технологических, но и экономических критериев. Покажем это на примере предприятия ООО «Газпром Трансгаз Югорск», где наблюдается высокая плотность дефектов коррозионного растрескивания под напряжением на газопроводах [4,5].

Эксплуатационные затраты на одну вырезку трубопровода составляют около 9,7 млн.руб. В эту сумму включены затраты на оплату труда, материалы, амортизацию, отчисления на социальную службу. При этом коммерческие убытки от простоя трубопровода составляют 2,02 млн. руб., а убытки от потерь транспортируемого продукта – 7,4 млн.руб., эксплуатационные затраты – 0,215 млн. руб. Суммарные затраты исследуемого газопровода протяженностью 1150 км., составляют 9,7 млн. руб. Затраты по вырезке дефектного участка приведены в таблице 3 [6].

Таблица 3 - Затраты по вырезке дефектного участка

Состав затрат	Сумма затрат, тыс. руб.
Материальные затраты	38
Затраты на оплату труда	94
Отчисления на социальные нужды	24
Амортизационные отчисления	19,8
Итого основные расходы	175,8
Прочие расходы (40% от основных)	70,32
Всего затраты на ремонт	246,12
Коммерческие убытки от простоя трубопровода	2,02 млн. руб.
Убытки от потерь транспортируемого продукта	7,43 млн. руб.
Итого: все затраты на мероприятия	9,7 млн. руб.

Восстановить целостность изоляционного покрытия магистрального газопровода можно при помощи переизоляции, для этого нужно остановить трубопровод на двое суток, при этом затраты от простоя составят 2,12 млн. руб. Затраты на переизоляцию одного км трубопровода составляют 0,2 млн. руб. В итоге, суммарные затраты на переизоляцию магистрального газопровода 1150 км оцениваются в 7,22 млн. руб.

Для антикоррозионной защиты трубопроводов, проложенных под землей, вдоль трассы их залегания устанавливаются СКЗ, схема которых приведена на рисунке 2. СКЗ включает в себя:

- анодное заземление;
- источник тока;
- пункт контроля и измерения;
- кабели и провода, выполняющие соединительные функции.

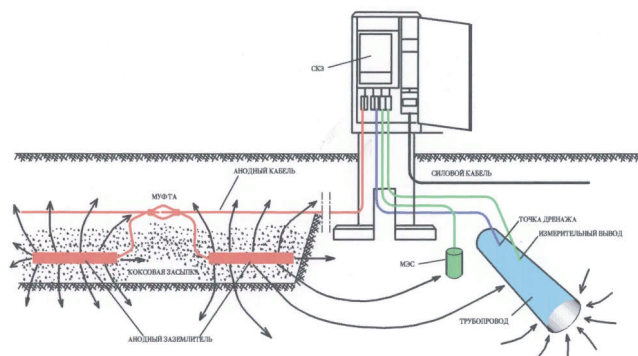


Рисунок 2 - Схема станции катодной защиты

Одна станция катодной защиты обычно обслуживает трубопровод при среднем качестве изоляции протяженностью 40-50 км, при этом мощность источника электроэнергии для питания катодной установки на существующих установках колеблется в пределах 1-10 кВт в зависимости от качества изоляции трубопровода, толщины его стенок, свойств грунта и других показателей.

Решение проблемы снижения КРН повреждаемости магистральных газопроводов возможно осуществить двумя способами:

- способ понижения силы тока, подаваемого с СКЗ, который заключается в понижении электрического потенциала на проблемном участке до необходимого уровня. В результате эксплуатирующей организации нужно проводить дорогостоящие вырезки;
- способ установки дополнительной СКЗ, способный обеспечить распределение электрического потенциала в пределах нормативного коридора значений, а, следовательно, и должную защиту участка в соответствии с нормами. Важное преимущество состоит в том, что при этом способе не нужно останавливать газопровод.

Расчет затрат для установки дополнительной СКЗ проведен по тем же статьям, как при анализе способа, связанного с вырезкой дефектного участка (таблица 4) [6].

Таблица 4 - Затраты по установке дополнительной СКЗ

Состав затрат	Сумма затрат тыс. руб.
Материальные затраты	245
Затраты на оплату труда	19
Отчисления на социальные нужды	5
Амортизационные отчисления	5
Итого основные расходы	274
Прочие расходы	10
Всего затраты на установку СКЗ	285

Таким образом проведенные расчеты позволяют оценить удельные затраты для каждого из перечисленных методов (таблица 5) [9,10].

Из представленных расчетов следует, что установка СКЗ является наименее затратным методом устранения коррозионного растрескивания.

В условиях рыночных отношений процесс функционирования субъекта хозяйствования сопровождается рисками, оказывающими влияние на финансовые затраты

предприятия. При этом наличие потенциального риска не означает, что нужно реализовывать мероприятия (а значит, и нести затраты), направленные на его устранение. Важную роль при планировании работ и при сопутствующем прогнозировании затрат следует отводить оценке вероятности наступления самих рисков.

Таблица 5 - Оценка удельных затрат

Мероприятия	Затраты, тыс. руб.
Метод вырезки (на 1 м трубопровода)	30.000
Метод переизоляции (на 1 км трубопровода)	200.000
Метод установки СКЗ (на 1 станцию / 40-50 км)	285.000

В этой связи заслуживает внимания подход диагностики рисков на основе использования матричного метода. Благодаря удобству в использовании и своим достоинствам матрицы риска широко применяются при измерении рисков на предприятиях всех отраслей. Матрица рисков представляет собой графическое и текстовое описание рисков субъекта хозяйствования, которые расположены в прямоугольной таблице [7].

Матрицы рисков позволяют определить уровень каждого выявленного риска для последующего принятия решения о снижении уровня риска. Матрицы включают критерии оценки рисков, а именно уровень ущерба от реализации риска и вероятность наступления рискового события в течение определенного периода времени. Каждый критерий ранжируется от минимального до максимального значения. Итоговый уровень риска определяется на пересечении двух критериев, например, к катастрофическим рискам следует относить риски, которые являются наиболее вероятными и наносят максимально возможный ущерб субъекту хозяйствования при его реализации [8].

Матрицы рисков получили широкое распространение благодаря своим преимуществам, среди которых особо выделяются:

- обеспечение последовательности действий при определении - рискованных приоритетов;
- привлечение внимания руководства субъекта хозяйствования к приоритетным рискам;
- предоставление данных о рисках в удобном наглядном виде;
- предоставление своевременных данных в процессе планирования и осуществления хозяйственной деятельности.

Матрицу следует использовать для ранжирования рисков, их источников и мер по обработке риска на основании уровня риска.

Применение данного метода требует наличия специалистов соответствующей компетентности (предпочтение отдается опытной группе) и всех имеющихся данных для обоснования экспертных заключений о последствиях и вероятности.

Матрица рисков формируется на основании данных о вероятности возникновения риска и ожидаемого влияния риска.

Для построения матрицы риска используют качественно-количественные шкалы вероятностей и последствий. Их разработка осуществляется с учетом специфики каждой конкретной ситуации. В матрице риска в соответствии с представлениями лица, принимающего решения, в названиях строк отражают градацию риска, в названиях столбцов – градацию последствий. На их пересечении могут приводиться либо вербальные оценки идентифицированных рисков, либо перечисление мероприятий, которые должны осуществляться в рамках управления риском. Группировка по значениям вербальных оценок или мероприятиям позволяет определять зоны риска.

Ниже приводится вид матрицы риска (таблица 5), предлагаемый для использования при выборе методов устранения коррозионного растрескивания под напря-

жением в газопроводах. Градации шкал вероятности и последствий содержат пять уровней, идентифицированных в соответствии с данными таблицы 6.

Таблица 6 - Матрица риска*

Вероятность (событие)	Оценка ущерба				
	несущественный 100 тыс. руб.	незначительный 5 млн. руб.	значительный 100 млн. руб.	крупный 300 млн. руб.	катастрофический 500 млн. руб.
P_1 (разлив нефти до 100 т)					
P_2 (разлив нефти до 500 т)					
P_3 (разлив нефти до 1000 т)					
P_4 (разлив нефти до 5000 т)					
P_5 (разлив нефти свыше 10000 т)					

* Зоны рисков в соответствии с их вербальными оценками:

	– зона минимального риска
	– зона низкого риска
	– зона среднего риска
	– зона высокого риска
	– зона критического риска

Вероятности P_1, \dots, P_5 должны определяться, исходя из имеющейся статистики. Для каждой зоны риска необходимо разработать перечень мероприятий, подлежащих выполнению в рамках реализации управляющих воздействий на риск. В число этих мероприятий должны быть включены мероприятия по борьбе с КРН магистрального газопровода с учетом их технологической и экономической эффективности, для оценки которых, в том числе, необходимо рассчитывать удельные затраты (таблица 5).

В случае тщательного изучения возможных проблемных ситуаций и проработки мероприятий по их нейтрализации матрица риска, при правильном применении, может стать эффективным инструментом управления рисками.

Произведен экономический расчет мероприятий по борьбе с КРН магистрального газопровода. Показано, что наиболее экономически эффективным методом борьбы с КРН, является способ установки дополнительных станций катодной защиты.

Принятие решений о способе снижения рисков КРН должно осуществляться с учетом экономической целесообразности и эффективности на основе использования действенных инструментов управления рисками, одним из которых является матрица рисков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Чучкалов М.В. Разработка методов выявления, торможения и предотвращения коррозионного растрескивания под напряжением на магистральных газопроводах: диссертация. канд-т техн. наук. - Уфа, 2015. - С. 3
2. Бойко А.М., Дедешко В.Н., Салюков В.В. Состояние эксплуатации и капитального ремонта магистральных трубопроводов // ИРЦ Газпром. – 1999. - №1-2. – С.18-25.
3. Шурайц А.Л., Павлутин М.В., Зубаилов Г.И., Бирюков А.В. Применение рациональной схемы размещения средств электрохимической защиты подземных стальных газопроводов от коррозии // Нефтегазовое дело. - 2009. - №2. - С. 169
4. Канайкин В.А., Варламов Д.П., Корзунин Г.С. Анализ стресс коррозионной дефектности магистральных газопроводов по результатам внутритрубной дефектоскопии // Дефектоскопия. – 2009. – №2. – С. 34–43.
5. Долгов И.А., Горчаков В.А., Сурков Ю.П. Оценка изменения стресс коррозионной повреждаемости по результатам повторной внутритрубной дефектоскопии // Дефектоскопия. – 2007. – №2. – С. 16–26.
6. Бархатов А.Ф., Федин Д.В., Вазим А.А. Экономическая эффективность реконструкции электрохимической защиты магистральных газопроводов от стресс-коррозии // Известия Томского политехнического университета - 2011. - №6. - С.40
7. Житная И.П., Живора А.А. Использование матриц при диагностике рисков на предприятиях // Аллея науки. – 2017. - №10. – С. 531-532
8. Chen, J. J., Tsai, C. A., Moon, H., Ahn, H., Young, J. J., & Chen, C. H. Decision threshold adjustment in class prediction. SAR QSAR Environmental Research, 2006, vol. 17, №3, pp. 337–352.
9. Крылов П.В. Разработка метода усовершенствования поточного производства капитального ремонта магистральных газопроводов: диссертация. канд-т техн. наук. - Москва, 2007, - С.31.

10. Производственно-торговая компания «Polexgroup». Режим доступа: http://www.polexgroup.ru/truby_stekloplastikovye/prais_na_stekloplastikovye_truby/ (дата обращения: 01.05.2019)

Статья поступила в редакцию 09.07.2019

Статья принята к публикации 27.08.2019