

УДК 622.691.4:620.193

А.И. Яблучанский¹, e-mail: ayabluchansky@gsg.spb.ru.

¹ Отдел электрохимзащиты АО «Гипроспецгаз» (Москва, Россия).

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ В СИСТЕМЕ КОРРОЗИОННОГО МОНИТОРИНГА КАК НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрены основные критерии, характеризующие уровень электрохимической защиты подземных трубопроводов и влияющие на скорость остаточной коррозии стали подземного трубопровода в дефектах защитного покрытия. Анализ этих критериев позволяет определить оптимальные параметры катодной защиты с возможностью управления скоростью остаточной коррозии при оценке остаточного ресурса трубопроводной системы.

Ключевые слова: остаточная скорость коррозии, защитный потенциал, плотность тока свободной коррозии, коррозия трубопровода под действием переменного тока, управление остаточной скоростью коррозии, оптимальные параметры катодной защиты.

В промышленно развитых странах убытки от коррозии металла ежегодно составляют примерно около 10% от их национального дохода. Анализ и систематизация причин аварий магистральных газопроводов (МГ) свидетельствуют о том, что доля отказов трубопроводной системы по причинам коррозионного разрушения трубного металла составляет более 30%.

Существующая в ПАО «Газпром» система противокоррозионной защиты (ПКЗ) магистральных трубопроводов предназначена для выполнения основной задачи – предотвращения коррозионных угроз путем ограничения скорости коррозии защищаемых объектов. Система коррозионного мониторинга (СКМ), входящая в состав ПКЗ, формирует исходные данные для определения текущего состояния системы противокоррозионной защиты, уровня коррозионных угроз и определения оптимальных параметров ПКЗ.

В ПАО «Газпром» проводится большая работа по повышению эффективности производства и оптимизации затрат Общества. В настоящее время решается комплексная проблема обеспечения надежности и безопасности магистральных газопроводов путем создания единой системы управления техническим состоянием и целостностью (СУТСЦ) газотранспортной системы (ГТС).

Система ПКЗ объектов ГТС рассматривается как один из элементов СУТСЦ. При этом СКМ, входящая в состав системы ПКЗ, должна стать неотъемлемой частью СУТСЦ ГТС. Данные СКМ рассматриваются в СУТСЦ как базовые для расчета остаточного ресурса трубопроводной системы и ее безопасной и безаварийной эксплуатации.

Одна из основных задач СКМ, как в составе системы ПКЗ трубопровода, так и при формировании входных данных СУТСЦ, – количественное определение и контроль

остаточной скорости коррозии катодно-защищаемых трубопроводов как необходимое условие достоверной оценки их остаточного ресурса.

В настоящее время при выборе параметров катодной защиты подземных трубопроводов особенно важным аспектом являются электрохимические реакции, протекающие на катодно-защищаемой поверхности трубопровода, и вопросу их влияния на эффективность катодной защиты уделяется недостаточно внимания как на уровне нормативно-технической документации, так и на этапе эксплуатации при оптимизации режимов работы системы катодной защиты.

В соответствии с действующими в России национальными стандартами, катодная защита подземных стальных трубопроводов должна выполняться таким образом, чтобы поляризационные потенциалы φ_n стали трубы (относительно насыщенного медно-сульфатного элект-

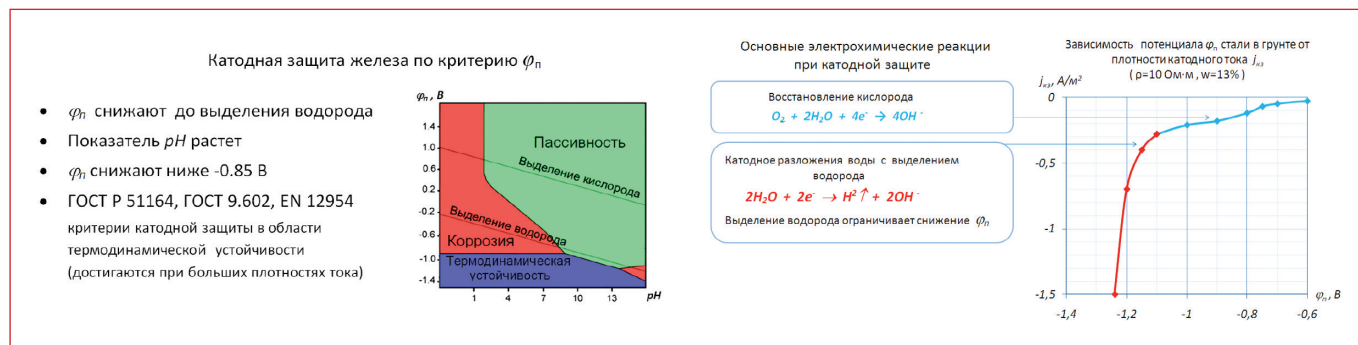


Рис. 1. Диаграмма Пурбе для железа в воде (а) и основные электрохимические реакции при катодной поляризации трубной стали в грунтовом электролите (б)

рода сравнения) находились между максимальным -0,85 В и минимальным -1,15 В значениями [1, 2]. Потенциал катодной поляризации ϕ_n указывает на термодинамическую возможность протекания коррозии или защиты (рис. 1а).

В соответствии с диаграммой «рН-потенциал ϕ_n » (диаграмма Пурбе), катодная защита стали в дефектах покрытия обеспечивается, когда ее потенциал находится в области термодинамической устойчивости, и эффективна даже при высоких значениях плотности катодного тока и высоком показателе рН. В то же время положение об эффективности катодной защиты в области высоких значений плотностей катодного тока не соответствует характеру типовой поляризационной кривой трубной стали с учетом основных электрохимических реакций при катодной защите (рис. 1б).

Потенциал катодной поляризации ϕ_n как основной нормативный критерий катодной защиты несет ценную информацию, но не содержит главного – по нему не определить скорость остаточной коррозии стали в дефектах защитного покрытия.

В ХОДЕ МНОГОЧИСЛЕННЫХ ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО УСТАНОВЛЕНО:

- коррозионные повреждения стали в грунтовом электролите повсеместно контролируются условиями доставки кислорода;

- скорость коррозии стали $K_{кор}$ определяется потенциалом коррозии $\phi_{кор}$ или плотностью тока коррозии $j_{кор}$, контролируемых кислородом;

- максимальная скорость коррозии K_{max} достигается при плотности тока коррозии, приближающейся к плотности предельно возможного тока по кислороду $j_{пр}$;

- в отсутствие катодной защиты $K_{кор} \rightarrow K_{max}$ при $j_{кор} \rightarrow j_{пр}$;

- при наличии катодной защиты при одних и тех же величинах ϕ_n скорость остаточной коррозии $K_{ост}$ стали в различных грунтах изменяется в широких пределах, что определяется различным значением потенциала коррозии $\phi_{кор}$;

- процесс катодной поляризации стали и сопутствующие электрохимические реакции показывают: начало реакции катодного разложения воды с выделением водорода свидетельствует о подавлении коррозионного процесса, когда плотность тока катодной защиты $j_{кз}$ достигает значений плотности тока коррозии $j_{кор}$;

- величина поляризационного потенциала ϕ_n , при котором начинается выделение водорода, зависит от величины потенциала коррозии $\phi_{кор}$, определяемого минералогическим и гранулометрическим составом грунтов и их влажностью.

В то же время на основе этих данных не удавалось установить четкой связи между величиной ϕ_n и скоростью остаточной коррозии $K_{ост}$ трубной стали в различных грунтах.

ПРОВЕДЕННЫЕ В ПОСЛЕДНЕЕ ВРЕМЯ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ В РАБОТЕ [3], ПОЗВОЛИЛИ СДЕЛАТЬ ВАЖНЫЕ ВЫВОДЫ:

- водород на образцах трубной стали начинает выделяться при различных значениях ϕ_n , но при практически одной и той же величине смещения потенциала катодной защиты $\Delta\phi = \phi_n - \phi_{кор}$ (разности между поляризационным потенциалом ϕ_n и потенциалом коррозии $\phi_{кор}$), равной 200 ÷ 250 мВ;

- зависимости скорости остаточной коррозии $K_{ост}$ трубной стали от величины отношения плотности тока катодной защиты $j_{кз}$ к плотности тока, предельной по кислороду $j_{пр}$, в различных грунтах практически сопоставимы.

В этих же исследованиях были определены и зависимости $K_{ост}$ от соотношения $j_{кз}/j_{пр}$. На подземных трубопроводах, оборудованных системой катодной защиты, скорость остаточной коррозии не превышает 0,01 мм/год, когда плотность тока катодной защиты $j_{кз}$ достигает значений плотности предельного тока по кислороду. Дальнейшее увеличение катодной поляризации, превышающее соотношение $j_{кз}/j_{пр} > 3$, не приводит к заметному подавлению коррозионного процесса, но сопровождается возрастанием объема водорода, выделившегося на катодно-защищаемой поверхности (рис. 2).

Резкое увеличение плотности тока катодной защиты при катодной поляризации стали (рис. 1б) связано с

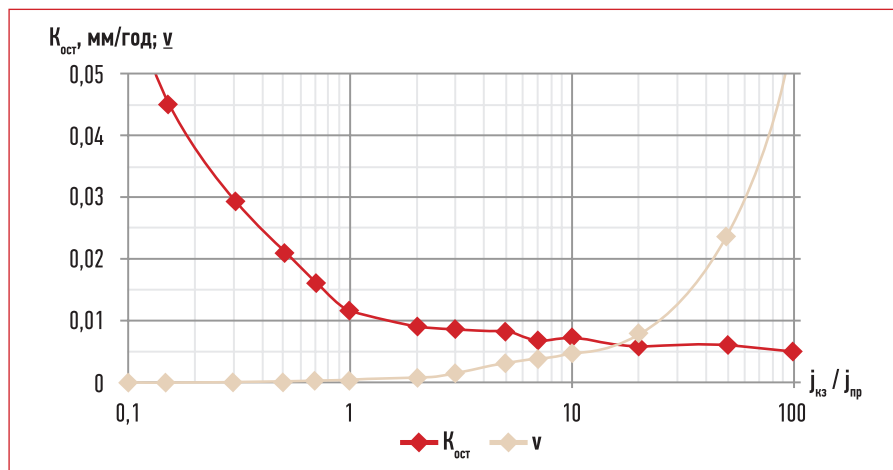


Рис. 2. Зависимости скорости остаточной коррозии $K_{ост}$ и объема V выделившегося водорода ($V=V_{640}$ мл/см²) от соотношения $j_{кз}/j_{пр}$

началом протекания на катодно-защищаемой поверхности электродной реакции – реакции катодного разложения воды с выделением водорода. Начало протекания этой реакции объясняет тот факт, что дальнейшее превышение плотности тока катодной защиты над предельной по кислороду не приводит к заметному подавлению коррозионного процесса. Проведенные исследования, представленные в работе [3], позволяют определить оптимальные параметры катодной защиты и обеспечить эффективность ее работы.

В последнее время как в России, так и в мировой практике большое внимание уделяется коррозионному влиянию высоковольтных линий электропередачи (ВЛ) на подземные трубопроводы.

В результате многочисленных исследований определены индикаторы риска коррозии от переменного тока:

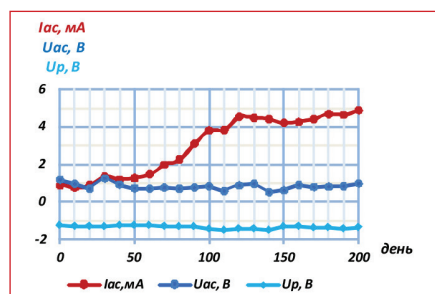
- удельное сопротивление растеканию тока с дефекта в защитном покрытии R_s , Ом·м²;
- плотность переменного тока утечки на этом дефекте j_{ac} , А/м².

Так, при разработке проектных решений при ожидаемых плотностях тока утечки промышленной частоты более 10 А/м² с дефектов в защитном покрытии трубопровода требуется предусматривать технические решения по снижению плотности переменного тока утечки до безопасного уровня $j_{ac} < 10$ А/м² [4].

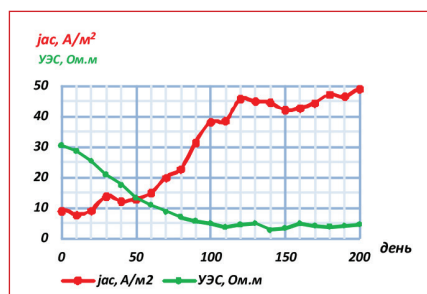
Происходящие при катодной защите электрохимические реакции увеличивают концентрацию водородных ионов (показатель pH) в месте дефекта покрытия: реакция катодного восстановления кислорода; реакции разложения воды с выделение H и OH.

При плотностях тока катодной защиты $j_{кз}$ выше уровня предельной плотности тока по кислороду $j_{пр}$ по-

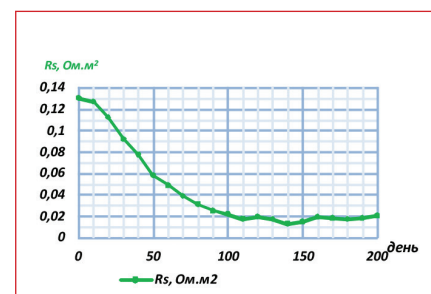
казатель грунта pH в районе дефекта увеличивается, приводя к снижению удельного электрического сопротивления грунтов вследствие повышения щелочности. Между плотностью тока катодной защиты $j_{кз}$ и распределенным сопротивлением дефекта R_s установлены четкие корреляции. При определенном уровне плотности тока катодной защиты увеличение показателя pH приводит к значительному снижению R_s и, как следствие, при наличии влияния переменного тока – к существенному увеличению j_{ac} на дефекте защитного покрытия [5]. Результаты экспериментов показывают [6], что на подземном трубопроводе, находящемся под влиянием ВЛ переменного тока, сопротивление растеканию тока R_s вспомогательного электрода, имитирующего дефект в защитном покрытии трубопровода, под воздействием чрезмерной плотности защитного тока (при параметрах катодной защиты, не превышающих установленных критериев защиты по поляризационному потенциалу U_p) в течение примерно 100 дней после начала эксперимента уменьшилось более чем в 6 раз (рис. 3в), что привело к увеличению плотности переменного тока j_{ac} с 8 до 50 А/м² (рис. 3б) при практически неизменном напряжении прикосновения U_{ac} (рис. 3а). Чрезмерный уровень катодной защиты в условиях влияния переменного тока увеличивает его коррозионное воздействие на трубопровод. В полевых условиях и в лаборатории установлено, что коррозия переменным током при определенных



а)



б)



в)

Рис. 3. Результаты измерений на вспомогательном электроде (ВЭ) одного из действующих трубопроводов, находящегося в зоне влияния ЛЭП переменного тока

условиях может быть уменьшена или даже фактически остановлена посредством снижения уровня катодной защиты.

Рассмотренные исследования позволяют выделить основные положения, определяющие оптимальные параметры катодной защиты трубопроводов:

- наиболее эффективно ток катодной защиты «подавляет» течение коррозионного процесса, когда значения плотности тока катодной защиты достигают значений предельной плотности тока свободной коррозии, контролируемой кислородом;
- скорость остаточной коррозии стали Кост снижается до значений, не превышающих 0,01 мм/год, при значениях плотности тока катодной защиты по отношению к предельной плотности тока по кислороду, определяемых условием $K_{ост} \leq 0,01$ при $1 < j_{кз}/j_{пр} < 3$;
- увеличение плотности тока катодной защиты по отношению к плотности предельного тока по кислороду более чем в 3 раза приводит к незначительному уменьшению $K_{ост}$ и вызывает протекание электродной реакции разложения воды с выделением H и OH, которая никакого отношения к подавлению коррозионного процесса не имеет, но способствует катодному отслаиванию защитного покрытия и наводороживанию стали трубопровода в дефектах защитного покрытия;
- увеличение концентрации OH грунтов в районе дефекта приводит к резкому уменьшению сопротивления растеканию току с дефекта и, как следствие, увеличивает риск коррозионного повреждения трубы в зоне влияния переменного тока промышленной частоты.

• превышение плотности тока катодной защиты по сравнению с предельной по кислороду больше чем в 3 раза приводит к тому, что более 50% электрической энергии расходуется на электролитическое разложение воды, а не на предотвращение коррозионных процессов.

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СНИЖЕНИЯ КАТОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА:

- рациональное использование электроэнергии;
- предотвращение вероятности отслаивания защитного покрытия;
- снижение вероятности наводороживания стали трубы в дефектах покрытия;
- снижение вероятности коррозии переменным током;
- контроль и управление скоростью остаточной коррозии.

Поскольку катодная защита увеличивает показатель pH в месте дефекта покрытия, то при наличии влияния переменного тока необходимо снижать величину катодной защиты (плотность катодного тока), чтобы уменьшить риск коррозии, вызываемой переменным током. Это обстоятельство несовместимо с коррозией, обусловленной воздействием блуждающих постоянных токов, для защиты от которых необходимы повышенные значения катодной защиты, что создает впечатление конфликта, возникающего между требованиями по катодной защите для ослабления коррозии, вызываемой переменным током, и требованиями по катодной защите для ослабления коррозии, вызываемой блуждающими постоянными токами. В таких случаях обязательным в системах дистанционного коррозионного мониторинга

является осуществление постоянного контроля в режиме реального времени как параметров воздействия на трубопровод электрических полей, так и скорости остаточной коррозии. Анализ полученных данных обеспечивает возможность определения оптимального уровня катодной защиты.

Для поддержания оптимальных параметров катодной защиты трубопровода необходимо в составе СКМ предусматривать такую расстановку станций катодной защиты, которая обеспечит управление и контроль плотностью катодного тока посредством снижения потенциала в диапазоне критериев, установленных стандартами. При современном уровне развития систем дистанционного коррозионного мониторинга не представляет сложности реализовать в режиме реального времени контроль скорости остаточной коррозии при оптимальных параметрах катодной защиты.

Использование при этом маломощных (20–50 Вт) компактных станций катодной защиты с автономными источниками питания в системах коррозионного мониторинга позволит решить задачи оптимизации противокоррозионной защиты с контролем скорости остаточной коррозии с минимальными капитальными и эксплуатационными затратами.

Система коррозионного мониторинга, формируя данные о состоянии ПКЗ для СУТСЦ, должна решать задачи оптимизации параметров системы катодной защиты с контролем и управлением скоростью коррозии как необходимым условием достоверной оценки остаточного ресурса трубопроводной системы.

Литература:

1. ГОСТ 51164-98 Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии.
2. ГОСТ 9.602-2005 Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.
3. Хижняков В.И. Коррозионное растрескивание трубопроводов под напряжением при транспортировке нефти и газа. М.: Картек, 2013. 174 с.
4. Унифицированные проектные решения УПР.ЭХЗ-02-2013. Типовые схемы электрохимической защиты от коррозии. Альбом 2.
5. Nielsen L.V. Role of Alkalization in AC induced corrosion of pipelines and consequences hereof in relation to CP requirements, NACE 2005. Paper 05188.
6. Захаров Д.Б., Яблучанский П.А., Титов А.В. Об оценке коррозионного воздействия ЛЭП на подземный трубопровод при их пересечении // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2013. № 7. С. 68–74.