

УДК 620.193.92

**ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА СТАЦИОНАРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ
ПРИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ****В.В. МИТЕЛЕВ; канд. техн. наук, доц. А.Г. КУЛЬБЕЙ**
(Полоцкий государственный университет)

Рассмотрены существующие критерии защищенности трубопроводов. Выявлены проблемы, возникающие при эксплуатации подземных трубопроводов, и рассмотрены существующие теоретические методы определения величины защитного потенциала. Выдвинута гипотеза, что на величину защитного потенциала влияет влажность грунта, являющаяся одним из факторов, изменяющих стационарный потенциал сооружения.

Ключевые слова: катодная защита, стационарный потенциал, защитный потенциал, скорость коррозии, коррозионные повреждения, влажность грунтов.

В соответствии с нормативными документами подземные трубопроводы для защиты от электрохимической коррозии должны быть обеспечены катодной защитой, основывающейся на создании защитного потенциала.

Общепризнанным критерием защиты в мировой практике является минимальный защитный потенциал, который принимают равным $U_{\text{защ. min}} = -0,85$ В (по медно-сульфатному электроду сравнения). Этот критерий ввел Роберт Кюн в практику электрохимической защиты подземных стальных трубопроводов еще в 1928 году. С тех пор уточнение этого критерия для трубопроводов коснулось в основном названия – к нему добавили слово «поляризационный». Однако опыт эксплуатации показал, что несмотря на применяемую катодную защиту подземные трубопроводы в местах дефектов изоляционного покрытия получают коррозионные повреждения. Следовательно, выяснение причин коррозии катодно-защищенных подземных трубопроводов и поиск оптимальных критериев защиты имеют существенное значение для обеспечения надежной и безотказной работы трубопроводов.

Основная часть

Известно, что электрохимическая защита (ЭХЗ) подземных металлических трубопроводов может быть осуществлена методом катодной поляризации, т.е. путем смещения потенциала от его стационарного значения в сторону отрицательных значений до величины защитного потенциала, при котором скорость растворения металла не превышает некоторой заданной величины. При этом в процессе наладки и эксплуатации электрохимической защиты требуется контроль ряда критериев защиты трубопроводов [1].

Под критериями электрохимической защиты понимают теоретически и экспериментально обоснованные значения плотности тока и потенциала защищаемого сооружения, при достижении которых коррозия практически прекращается.

В практике ЭХЗ критериями защиты признаны:

- минимальная защитная плотность тока, $j_{\text{защ. min}}$;
- минимальное защитное смещение потенциала, $\Delta\varphi_{\text{защ. min}}$;
- минимальный защитный потенциал, $\varphi_{\text{защ. min}}$;
- максимальный защитный потенциал, $\varphi_{\text{защ. max}}$.

Однако из-за технических трудностей, возникающих при натурных измерениях плотностей токов $j_{\text{защ}}$ и $j_{\text{корр}}$, особенно при исследовании подземных трубопроводов, чаще о качестве защиты судят не по токам j , а по величине потенциала φ или смещения потенциала $\Delta\varphi$ [2].

Важной особенностью является то, что с увеличением количества электроэнергии, растрачиваемой на защиту трубопровода от коррозии, пропорционально растет и стоимость обеспечения этой защиты. Следовательно, возникает вопрос о поиске минимальных величин затрачиваемой энергии, обеспечивающих достаточную степень защиты трубопровода.

Снижение скорости коррозии с увеличением смещения потенциала

Теоретическое соотношение, позволяющее оценивать степень защиты подземного сооружения в зависимости от величины катодного смещения потенциала, получил В.В. Красноярский [3]. Предлагаемая им расчетная формула может быть представлена в виде

$$\Delta\varphi_{\text{защ. min}} = -0,059 \lg(j_{\text{корр}} / j_a), \quad (1)$$

где $\Delta\varphi_{\text{защ. min}}$ – минимальное защитное смещение потенциала, В; $j_{\text{корр}}$ – первоначальная плотность тока коррозии без ЭХЗ; j_a – предельно допустимая плотность тока коррозии при включенной ЭХЗ.

Так, для снижения скорости коррозии в 100 раз, т.е. для выполнения условия $j_{\text{корр}} / j_a = 100$, необходимо сместить потенциал на величину $\Delta\phi_{\text{защ. min}} = -0,059 \lg 100 = -0,118$ В. Даже при $\Delta\phi_{\text{защ. min}} = -0,018$ В скорость коррозии снижается вдвое.

Стандарт NACE – Национальная ассоциация инженеров-коррозионистов (США) – предлагает в качестве минимального защитного смещения потенциала следующие значения:

$\Delta\phi_{\text{защ. min}} = -0,1$ В – для неизолированных сооружений;

$\Delta\phi_{\text{защ. min}} = -0,3$ В – для изолированных трубопроводов.

Первый из этих критериев определен теоретически, что было отмечено выше, как достаточное поляризационное смещение потенциала стали, обеспечивающее примерно 100-кратное снижение скорости коррозии.

Второй критерий учитывает не только поляризационную, но и омическую составляющую смещения потенциала.

Таким образом:

$$\Delta\phi_{\text{защ. min}} = \Delta\phi_{\text{пол. min}} + \Delta\phi_{\text{ом. min}} \quad (2)$$

Так как для защиты достаточно $\Delta\phi_{\text{защ. min}} = -0,1$ В, то при использовании значения $\Delta\phi_{\text{защ. min}} = -0,3$ В как критерия защиты, полагают, что величина омической составляющей на изоляционном покрытии любого вида не превышает $\Delta\phi_{\text{ом. min}} = -0,2$ В.

Связь величины минимального защитного потенциала со стационарным потенциалом сооружения

С учетом того, что минимальный защитный потенциал есть минимальное защитное смещение потенциала $\Delta\phi_{\text{защ. min}} = -0,1$ В, в сумме со стационарным потенциалом $\phi_{\text{ст}}$ получаем:

$$\phi_{\text{защ. min}} = \phi_{\text{ст}} + \Delta\phi_{\text{защ. min}} \quad (3)$$

при этом диапазон фактических значений $\phi_{\text{ст}}$ для реального подземного трубопровода, как правило, находится в следующих пределах: $\phi_{\text{ст}} = -0,4 \dots -0,75$ В.

Следовательно, приемлемый минимальный защитный поляризационный потенциал $\phi_{\text{защ. min}}$ будет определяться физико-химическими условиями для данного трубопровода и может лежать практически в пределах от $-0,5$ до $-0,85$ В. Однако согласно ГОСТ Р 51164-2001 электрохимическая защита должна обеспечивать в течение всего срока эксплуатации непрерывную по времени катодную поляризацию трубопровода на всем его протяжении таким образом, чтобы значения потенциалов на трубопроводе были (по абсолютной величине) не меньше минимального значения, равного $-0,85$ В. Инфограмма потенциалов подземного трубопровода представлена на рисунке 1.

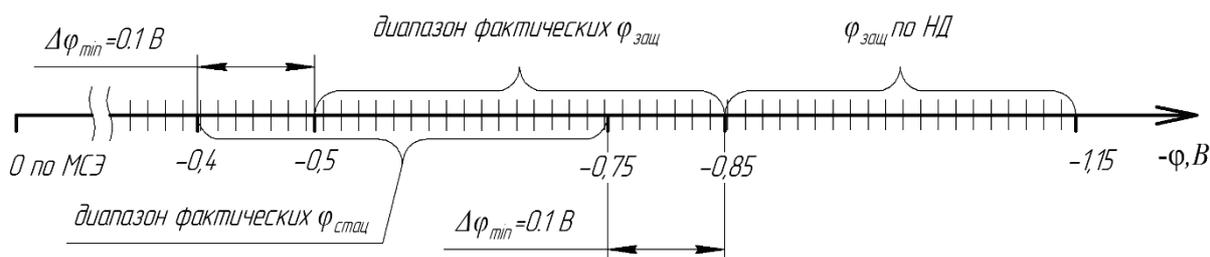


Рисунок 1. – Инфограмма потенциалов подземного трубопровода

Выбор величины $\phi_{\text{защ. min}}$, равной $-0,85$ В, как единственного критерия защиты связан скорее со стандартизацией, унификацией и желанием обеспечить запас надежности.

При более детальном анализе реальных условий прохождения подземного трубопровода и величины стационарного потенциала оказывается, что величина $\phi_{\text{защ. min}}$, составляющая $-0,85$ В, не всегда гарантирует отсутствие коррозионных повреждений. Это обстоятельство приводит к тому, что эксплуатирующие организации необоснованно повышают защитный потенциал, тем самым увеличивая расхода электроэнергии.

В то же время встречаются случаи, когда даже при $\phi_{\text{защ. min}}$ меньше $-0,85$ В коррозионные повреждения отсутствуют. Это можно объяснить тем, что фактором, определяющим скорость коррозии, является не величина защитного потенциала, а величина смещения потенциала от его стационарного значения.

При смещении потенциала трубопровода более чем на 0,1 В от его стационарного потенциала скорость коррозии становится пренебрежительно мала, и даже потенциал ниже нормативного будет обеспечивать защиту трубопровода от коррозии. И наоборот, при стационарном потенциале трубопровода в почве меньше $-0,75$ В (например при $\varphi_{ст} = -0,78$ В), нормативного минимального защитного потенциала, равного $-0,85$ В, будет недостаточно для обеспечения минимального смещения, а следовательно, скорость коррозии будет снижена недостаточно, и безотказная работа в период эксплуатации не будет обеспечена.

По величине стационарного потенциала нельзя судить о защищенности подземного сооружения, однако он является показателем коррозионной агрессивности среды и определяет необходимый минимальный защитный потенциал трубопровода.

Влияние величины стационарного потенциала на скорость коррозии

Исследования, проведенные в различных странах мира в различное время на различных сооружениях и их изоляции от окружающей среды, позволили сделать заключение, что с ростом отрицательного стационарного потенциала коррозия увеличивается.

$$\varphi_0 - \varphi_c = A, \quad (4)$$

где φ_0 – равновесный потенциал металла; φ_c – стационарный потенциал сооружения в грунте.

Чем положительнее A (разность между равновесным потенциалом металла и стационарным потенциалом сооружения в грунте), тем большую величину коррозии можно ожидать [4].

Так, Л.М. Апплгейт установил следующую закономерность скорости коррозии от величины стационарного потенциала:

$-0,15$ В $\leq \varphi_c$ – коррозия практически отсутствует;

$\varphi_c = -0,15 \dots -0,3$ В – коррозия очень слабая;

$\varphi_c = -0,3 \dots -0,45$ В – коррозия слабая;

$\varphi_c = -0,45 \dots -0,55$ В – коррозия умеренная;

$\varphi_c = -0,55$ В и более – коррозия сильная.

Эта закономерность подтверждается и исследованиями других авторов. Например, Э.П. Мингалев [5], исследуя коррозию подземных сооружений в торфяных грунтах Западной Сибири, установил интервал отрицательных значений стационарных потенциалов, при котором наблюдается наиболее глубокие карверны: $-0,45 \dots -0,66$ В.

Изучив распределение коррозионных повреждений по длине газопроводов, Е.А. Никитенко [6; 7] пришел к выводу, что измеренные потенциалы вдоль неизолированного трубопровода находятся в следующем диапазоне: $-0,5 \dots -0,6$ В.

Данные, полученные исследователями, отличаются, так как они проводили измерения в различных грунтах с различными физико-химическими свойствами. Однако общая закономерность сохраняется: с увеличением отрицательного значения стационарного потенциала скорость коррозии возрастает.

Анализ

По нашему мнению, при известном значении необходимого смещения потенциала величина минимального защитного потенциала определяется значением стационарного потенциала трубопровода в данных условиях, о чем свидетельствуют результаты, полученные в ходе проведения исследования.

Стационарный потенциал зависит от многочисленных факторов почвенной коррозии.

Одним из факторов, имеющим существенное значение для коррозии металла труб, является *влажность грунта*. Обычно под влажностью понимают долю объема грунта, занятого водой (%). Увеличение влажности грунта способствует протеканию анодного процесса, увеличивает электропроводность грунта, но затрудняет протекание катодного процесса.

Вероятно, это связано с тем, что избыток влаги, вытесняя из почвы воздух, затрудняет диффузию основного катодного деполяризатора – кислорода, содержащегося в воздухе, к поверхности металла.

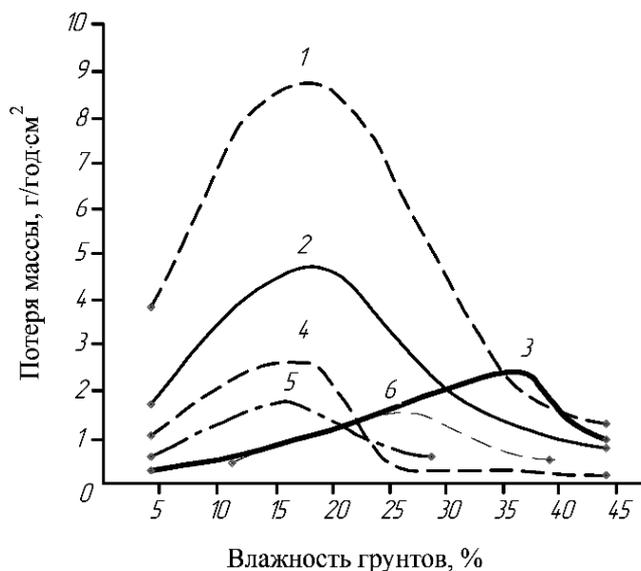
Так, в песке при увеличении влажности с 0 до 20% скорость диффузии кислорода снижается в 10 000 раз. Скорость коррозии стали в глинистых почвах максимальна при влажности 12...35%, а в песчаных – 14...21%. При изменении влажности с 5% до критических значений скорость коррозии в глинах увеличивается примерно в 10 раз, а в песках – примерно в 3 раза [8]. Таким образом, функция зависимости скорости коррозии металлов от влажности почвы имеет экстремум.

Зависимость скорости коррозии как от стационарного потенциала, так и от влажности дает основание для выдвижения гипотезы о влиянии влажности почвы на стационарный потенциал подземных сооружений:

Величина минимального защитного потенциала не является константой, а определяется значением стационарного потенциала трубопровода в конкретных условиях, и одним из значимых факторов является влажность почвы.

Определение зависимости стационарного потенциала от влажности позволит судить об изменении необходимой величины минимального защитного потенциала при изменении влажности почвы.

На рисунке 2 проиллюстрировано влияние влажности на скорость коррозии стали.



1 – солончаковый песок; 2 – солончаковый суглинок;
3 – верхний слой чернозема; 4 – крупнозернистый песок;
5 – мелкозернистый глинистый песок; 6 – бурая глина

Рисунок 2. – Влияние влажности на скорость коррозии стали

В заключение исследования по результатам проведенного анализа литературных источников и работ исследователей-коррозионистов можно сделать следующие **выводы**:

- Основным критерием катодной защиты традиционно считается величина минимального защитного потенциала, который в нормативных документах принят равным $-0,85$ В.
- Как показал опыт эксплуатации подземных трубопроводов, нормативная величина минимального защитного потенциала не всегда является оптимальной.
- Значение минимального защитного потенциала напрямую зависит от стационарного потенциала сооружения, так как скорость коррозии определяется минимальным защитным смещением потенциала.
- Стационарный потенциал является показателем коррозионной опасности среды и зависит от многих факторов.
- Один из важнейших факторов подземной коррозии является влажность грунта.

Исходя из данных выводов выдвинута *гипотеза* о влиянии влажности почвы на стационарный потенциал подземных сооружений. Выявление данной зависимости имеет существенное значение в изучении процессов подземной коррозии. Почва представляет собой многофакторную коррозионную среду, и необходимо планомерное изучение влияния каждого из внешних факторов на величину защитного потенциала, что будет способствовать разработке системы общей оценки коррозионной опасности почвы в месте прохождения подземного трубопровода и подобрать оптимальные критерии его защищенности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об оценке технического состояния подводных переходов магистральных трубопроводов / А.И. Вегера [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия, В. Промышленность. Прикладные науки. – 2006. – № 3. – С. 137–142.

2. Кузнецов, М.В. Коррозия подземных стальных трубопроводов при катодной защите / М.В. Кузнецов, А.М. Кузнецов // Моделирование технологических процессов бурения, добычи и транспортировки нефти и газа на основе современных информационных технологий : материалы всерос. науч.-техн. конф., Тюмень, 20–22 мая 1998 г. ; Тюмен. индустриал. ун-т ; редкол.: В.Н. Сомов (отв. ред.) [и др.]. – Тюмень, 1998. – С. 168.
3. Красноярский, В.В. Коррозия и защита подземных металлических сооружений. – М. : Высш. школа, 1968. – 296 с.
4. Палашов, В.В. Электродинамическая модель определения полноты катодной защиты / В.В. Палашов, В.В. Притула, О.В. Палашов. – М. : Акела, 2005. – 195 с.
5. Мингалев, Э.П. Коррозия подземных промысловых трубопроводов в торфяных грунтах Западной Сибири / Э.П. Мингалев. – М. : ВНИИОНГ, 1976. – 28 с.
6. Никитенко, Е.А. Монтер по защите подземных трубопроводов от коррозии / Е.А. Никитенко, Я.М. Эдельман. – М. : Недра, 1981. – 254 с.
7. Никитенко, Е.А. Электрохимическая коррозия и защита магистральных газопроводов / Е.А. Никитенко. – М. : Недра, 1972. – 120 с.
8. Красноярский, В.В. Подземная коррозия металлов и методы борьбы с ней / В.В. Красноярский, А.К. Ларионов. – М. : Изд-во МКХРСФСР, 1962.

Поступила 24.03.2017

THE EFFECT OF HUMIDITY ON THE STATIONARY POTENTIAL UNDER CATHODIC PROTECTION OF UNDERGROUND PIPELINES

V. MITSELEV, A. KULBEI

The article examines the existing criteria for protection of pipelines. Underground pipelines maintenance induced problems were identified and the existing theoretical methods of determining the protection potential value were examined as well. The hypothesis, that the protection potential magnitude is affected by soil moisture, which is one of the factors modifying stationary potential of the structures, has been produced.

Keywords: *cathodic protection, stationary potential, protection potential, rate of corrosion, corrosion damage, soil moisture.*