

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ГРУНТОВУЮ КОРРОЗИЮ СТАЛИ

Н.Р. Оганесян, А.Н. Кочарян, И.М. Погосян

Национальный политехнический университет Армении

Грунтовая коррозия подземных стальных трубопроводов является главной причиной их разгерметизации - возникновения аварийных ситуаций. Утрата герметичности таких трубопроводов не только приносит большие экономические потери, но и приводит к социальным и экологическим проблемам. Прогноз коррозионной активности грунта, исходя из физико-химических характеристик, - приоритетная задача при эксплуатации стальных трубопроводов.

Известно, что наиболее распространенными компонентами грунта являются хлориды, а из-за неоднородной влажности грунта на стали образуются неравномерно аэрированные пары. Схема коррозии неравномерно аэрированной стали в грунте аналогична работе коррозионного гальванического элемента, так как при наличии влаги грунт служит коррозионно-активным электролитом. На катодных участках основной деполяризующей реакцией является восстановление кислорода, а на анодных участках, к которым затруднен доступ кислорода, происходит разрушение металла.

Изучено влияние неравномерного аэрирования модельного грунта (песок) на скорость и характер коррозии стали Ст.3. Оценены скорость, потенциал коррозии стальных образцов и изменения pH их приповерхностных грунтов в зависимости от удаления границы раздела грунтов, влажности окружающего грунта.

Показана ведущая роль влажности грунтов в формировании пар неравномерного аэрирования. Установлено образование анодных и катодных участков, изменение их pH, потенциала. Более влажный грунт (вблизи анода) становится кислым, менее влажный грунт (вблизи катода) - щелочным. На анодных участках потенциал стабилизируется быстрее, а на катодных участках - медленнее. Обнаружено, что на анодных участках наблюдается интенсивная равномерная коррозия со слабыми следами локализации, а на катодных - преимущественно питтинговая коррозия. Скорость коррозии на анодных участках максимальна вблизи границы раздела грунтов и уменьшается по мере удаления от него.

Исходя из силы тока неравномерно аэрированной пары, можно определить интенсивность коррозии стали на разных расстояниях от границы раздела грунтов, выявить наиболее коррозионно-опасные участки.

Ключевые слова: грунт, влажность, хлориды, неравномерная аэрация, питтинговая коррозия.

Введение. Функционирование практически любого объекта промышленного, жилищно-коммунального или сельскохозяйственного назначения обеспечивают подземные стальные трубопроводы, которые из-за грунтовой коррозии подвержены разгерметизации - возникновению аварийных ситуаций. Утрата герметичности таких трубопроводов не только приносит большие экономические потери, но и приводит к социальным и экологическим ущербам. Для решения одной из важнейших задач жизнеобеспечения - защиты металлических трубопроводов от коррозии - необходимо изучение влияния различных факторов на грунтовую коррозию.

На коррозионную агрессивность грунта влияет ряд физических, химических и биологических факторов. К ним относятся структура грунта, содержание влаги, насыщенность кислородом, концентрация химических соединений, кислотность, электропроводность и т.д.

Хлориды являются наиболее распространенными компонентами грунта, который при наличии влаги служит коррозионно-активным электролитом. Из-за неоднородной влажности грунта на стали образуются неравномерно аэрированные пары. Очевидно, что на катодных участках основной деполяризующей реакцией является восстановление кислорода, а на анодных участках, к которым затруднен доступ кислорода, происходит разрушение металла. Анодные и катодные участки могут быть значительно удалены друг от друга. Схема коррозии неравномерно аэрированной стали в грунте аналогична работе коррозионного гальванического элемента [1].

Известно, что присутствие Cl^- ионов и пар неравномерной аэрации в грунте способствует возникновению питтинговой коррозии стали [2].

Важнейшим фактором, предопределяющим коррозионную агрессивность грунта во всех географических зонах, можно считать критическую влажность, так как при этой влажности проявляется максимальная скорость коррозии [3]. Для песчаных грунтов значение критической влажности составляет 10...20%, а для глинистых - 12...25% [1].

Согласно литературным данным, в условиях неравномерной аэрации интенсивность коррозионного процесса растворения металла снижается в течение длительного периода (до нескольких месяцев), т.е. результаты краткосрочных испытаний могут содержать неточности [4]. При тех же условиях вопросы возникновения локальных коррозионных повреждений и

их прогнозирование на стальных подземных конструкциях требуют проведения разных исследований [5].

Ранее нами были выявлены кинетические закономерности подземной коррозии анодных участков стали в условиях неравномерной аэрации и изучено влияние глубины залегания образцов на потенциал коррозии [6].

Постановка задачи и экспериментальный метод

Цель данной работы - изучение влияния неравномерной аэрации модельного (песчаного) грунта на скорость и характер коррозии стали Ст.3; оценка скорости, потенциала коррозии стальных образцов и изменения рН приповерхностных грунтов в зависимости от удаления границы раздела грунтов, влажности и концентрации хлор-ионов окружающего грунта.

Объектом исследования является углеродистая сталь Ст.3 - основной конструкционный материал подземных трубопроводов.

В качестве модельного грунта использовали относительно однородный по диаметру частиц песок, полученный по известной методике [7]. Песок предварительно очищали от посторонних частиц, просеивали на ситах с последовательно уменьшающимися отверстиями (2,5; 1; 0,63; 0,31), промывали струей холодной воды, обрабатывали в 5% растворе H_2SO_4 , повторно промывали струей холодной воды, дистиллированной водой до $pH=7,0...7,2$. Влажный песок сушили в сушильной камере при температуре $\approx 100^{\circ}C$ до полного высыхания.

Для изучения неравномерной аэрации в грунте была изготовлена многоэлектродная электрохимическая ячейка, позволяющая осуществлять контакт сред с различной аэрацией без их перемешивания.

Неравномерная аэрация проводилась с помощью различной влажности (3% и 20%) песчаного грунта. Песок увлажняли 0,3 М и 0,003 М растворами NaCl в соответствии с концентрацией грунтового электролита. Влажность песчаного грунта контролировалась с помощью *удельного электрического сопротивления*, которое определялось стандартным методом [7].

Две секции многоэлектродной электрохимической ячейки имели общее дно, были отделены друг от друга ионообменным сепаратором и заполнены грунтами различной влажности. В каждой секции по длине ячейки на расстоянии 1,5 см друг от друга размещали по три образца из стали Ст.3 размером 40x20x4 мм. Создана составная модель подземной трубы [8]. К каждому испытываемому образцу был припаян токоподвод, который был выведен за пределы ячейки. Благодаря этому между испытываемыми образцами создавался электрический контакт.

В течение 72 суток определяли потенциалы опытных образцов составной модели, а также силу тока между неравномерно аэрируемыми участками. При электрохимических измерениях в качестве электрода сравнения служил хлорсеребряный электрод.

После завершения испытаний в электрохимической ячейке определяли pH грунта, непосредственно прилегающего к поверхности каждого образца, а также, визуалью под микроскопом, изучали характер коррозионного повреждения стальной поверхности. Потерю массы каждого стального образца определяли гравиметрическим методом с точностью взвешивания до 10^{-4} г [7].

Результаты исследования

Зависимость удельного сопротивления модельного грунта от его влажности. Как и следовало ожидать, сопротивление грунта падает с ростом его влажности. Сопротивление грунта, насыщенного более концентрированным 0,3 М раствором NaCl, ниже, чем грунта с содержанием 0,003 М раствора NaCl (рис.1).

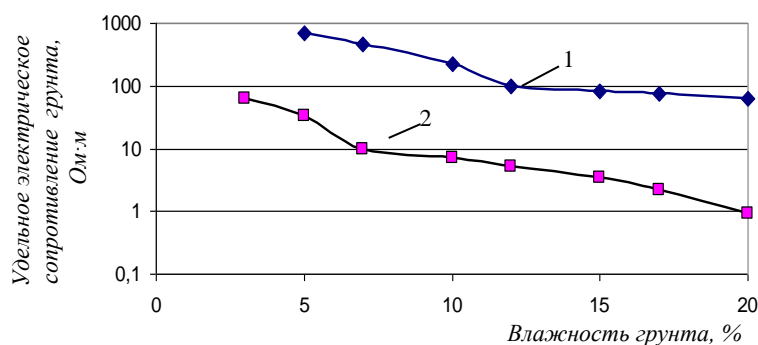


Рис. 1. Зависимость удельного электрического сопротивления модельного грунта от его влажности при увлажнении раствором NaCl: 1 - 0,003 М, 2 - 0,3 М

Увеличение удельного сопротивления грунта свидетельствует о необходимости добавления дистиллированной воды. Недельная убыль воды в каждом из отсеков ячейки составляла 25...40 мл. Воду в отсеки равномерно вводили шприцем на глубину 20...30 мм.

Изменение потенциала неравномерно аэрированной составной модели трубопровода в течение времени. По данным испытаний в грунте, увлажненном 0,3 М раствором NaCl (рис. 2а), коррозионный потенциал исследуемого образца зависит от условий аэрации грунта (влажности) и расстояния от сепаратора грунтов. В грунте влажностью 20% потенциал

стали стабилизироваться быстрее - примерно через 32 дня, а в грунте влажностью 3% - медленнее - примерно через 50 дней. При этом потенциал явно зависит от расстояния сепаратора грунтов.

Аналогичная картина наблюдается в грунте, увлажненном 0,003 М раствором NaCl (рис. 2б). Во влажном грунте потенциал стабилизируется быстрее, а в более сухом грунте - медленнее.

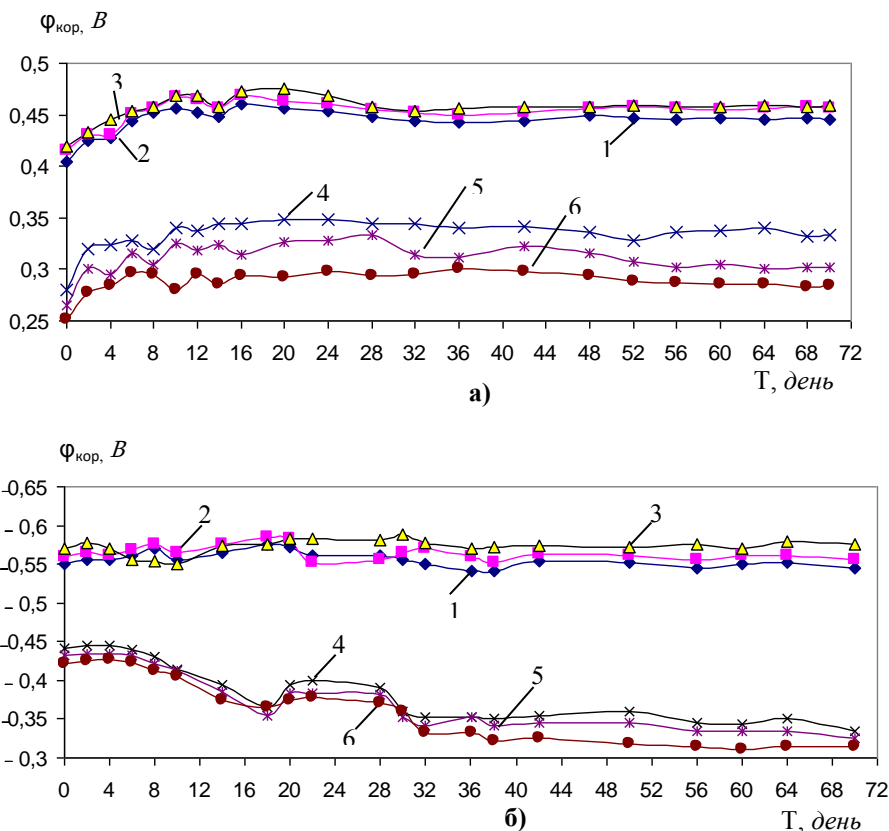


Рис. 2. Зависимость потенциала стальных образцов от времени пребывания в грунте, увлажненном 0,3 М раствором NaCl (а) и 0,003 М раствором NaCl (б). Влажность - 20% (1-3), 3% (4 - 6). Расстояние от сепаратора - 1,5 см (1, 4), 5 см (2, 5), 8,5 см (3, 6)

В целом в грунтах, увлажненных 0,3 М и 0,003 М растворами NaCl, изменение потенциала во времени во влажном грунте не превышает 30 мВ, а в сухом грунте составляет 90 мВ, т.е. поляризация катода больше, чем анода.

Как видно, в грунтах, увлажненных 0,3 М и 0,003 М растворами NaCl, в случае образования неравномерно аэрированной пары сохраняется общая

закономерность изменения электродного потенциала, но величины потенциалов анодных участков различны. В грунте, увлажненном 0,3 М раствором NaCl до 20%, потенциалы примерно на 100 мВ положительнее, чем в случае увлажнения 0,003 М раствором NaCl. Это объясняется кривыми анодной поляризации. В обоих случаях анодные потенциалы соответствуют потенциалу начала пассивации.

Зависимость скорости коррозии стали Ст.3 от расстояния сепаратора грунтов. Результаты испытаний приведены в таблице.

Таблица

Зависимость скорости коррозии и pH приповерхностного слоя грунта стальных образцов от расстояния сепаратора грунтов

Расстояние образца от сепаратора грунтов, см	Грунт, увлажненный 0,003 М раствором NaCl				Грунт, увлажненный 0,3 М раствором NaCl			
	3%		20%		3%		20%	
	K_m^- , $г/м^2 \cdot ч$	pH	K_m^- , $г/м^2 \cdot ч$	pH	K_m^- , $г/м^2 \cdot ч$	pH	K_m^- , $г/м^2 \cdot ч$	pH
1,5	0,1095	9,0	0,3886	6,0	0,3463	9,8	0,5266	5,5
5	0,1271	8,9	0,1657	6,5	0,5894	9,7	0,4886	5,7
8,5	0,1347	8,7	0,1229	6,7	0,5975	9,6	0,4784	6
начальный pH=7					начальный pH=7,2			

В грунтах с 0,3 М и 0,003 М растворами NaCl скорость коррозии на анодных участках ячеек максимальна вблизи сепаратора грунтов и уменьшается по мере удаления от него.

Локальную коррозию поверхности опытных образцов оценивали с помощью оптической микроскопии. В грунтах, увлажненных на 20%, наблюдается интенсивная равномерная коррозия со слабыми следами локализации, а в грунтах, увлажненных на 3%, наблюдается только питтинговая коррозия.

pH приэлектродного грунта в условиях неравномерной аэрации.

После завершения испытаний в электрохимической ячейке определяли pH приповерхностного грунта каждого стального образца [7]. На участке с 20% увлажненным грунтом (вблизи анода) pH становится кислым, а на участке с 3% увлажненным грунтом (вблизи катода) - щелочным (см. табл.). Изменения pH в грунтах, увлажненных 0,3 М и 0,003 М растворами NaCl, аналогичны и соответствуют литературным данным [1, 8].

Очевидно, что присутствие неравномерно аэрированной пары изменяет рН. В грунтах, увлажненных 0,3 М и 0,003 М растворами NaCl, наибольшее отклонение от исходного значения рН характерно для участка, заполненного грунтом с влажностью 3%.

В грунте с 3% увлажненным 0,003 М раствором NaCl максимальное значение рН приповерхностного слоя грунта составляет ~9. Сравнение измеренного потенциала металла (рис. 2) с поляризационной кривой, полученной в грунтовом электролите при этом значении рН, свидетельствует о том, что этот потенциал находится в области пассивации [9].

На поверхности металла в результате нарушения локальной пассивации развивается питтинг, что видно из кривых анодной поляризации. Это подтверждается и микроскопическим исследованием поверхностей испытанных образцов.

Сила тока неравномерно аэрированной пары. Интенсивность работы неравномерно аэрируемой пары определяется силой тока, проходящего между анодной и катодной секциями. Измерения проводились на составной модели, которая позволяет определить ток между двумя секциями ячейки и между парой случайно выбранных опытных образцов. Исходя из этих данных, можно определить интенсивность коррозии стали на разных расстояниях от границы раздела грунтов, выявить наиболее коррозионно-опасные участки.

Сила тока между образцами, испытанными в грунтах разных участков ячейки, сначала возрастает (рис. 3), так как увеличивается разность потенциалов между образцами - анодными и катодными участками. Через ≈15 суток сила тока между этими образцами стабилизируется, затем через ≈35 суток она снижается. Стабилизация и последующее снижение силы тока обусловлены торможением растворения, причиной которого является образование продуктов коррозии на поверхности металла.

Сила тока в грунтах, увлажненных 0,3 М и 0,003 М растворами NaCl, изменяется аналогично. Однако при испытании в грунтах, увлажненных 0,003 М раствором NaCl, сила тока в 5...6 раз меньше.

В ходе испытания направление силы тока между участками четко показало, что анодным участком был исследуемый образец в грунте с влажностью 20%, а катодным участком – исследуемый образец в грунте с влажностью 3%.

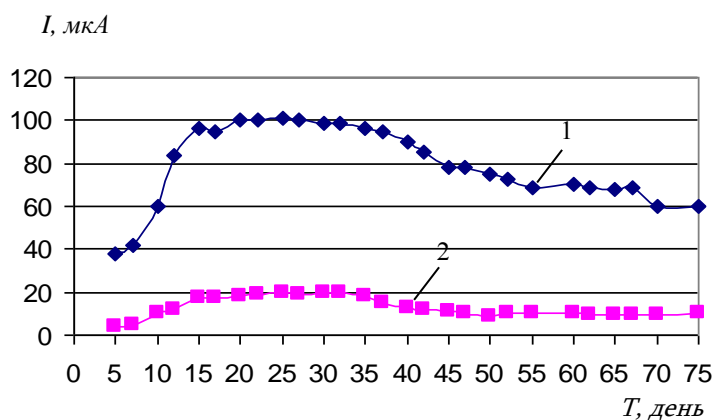


Рис. 3. Изменение силы тока между анодным и катодным участками электрохимической ячейки при увлажнении грунта:
 1 - 0,3 М раствором NaCl, 2 - 0,003 М раствором NaCl

Заключение

Изучено влияние неравномерного аэрирования песчаного грунта на скорость и характер коррозии стали Ст.3.

Показана ведущая роль влажности грунтов в формировании пар неравномерного аэрирования. Установлено образование анодных и катодных участков, изменение их pH, потенциала. Более влажный грунт (вблизи анода) становится кислым, менее влажный грунт (вблизи катода) - щелочным. На анодных участках потенциал стабилизируется быстрее, а на катодных - медленнее.

Обнаружено, что на анодных участках наблюдается интенсивная равномерная коррозия со слабыми следами локализации, а на катодных участках - преимущественно питтинговая коррозия. Скорость коррозии на анодных участках максимальна вблизи границы раздела грунтов и уменьшается по мере удаления от нее.

Исходя из силы тока неравномерно аэрированной пары, можно определить интенсивность коррозии стали на разных расстояниях от границы раздела грунтов, выявить наиболее коррозионно-опасные участки.

Литература

1. **Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В.** Коррозия и защита от коррозии. - М.: Физматлит, 2010. - 416 с.
2. **Попов Ю.А.** Теория зарождения питтингов. Ч. 1: Механизм локальной депассивации металла // Защита металлов. - 2007. - Т. 43, №3. – С. 231-234.
3. **Великоцкий М.А.** Коррозионная активность грунтов в различных природных зонах // Вестник МГУ. Серия 5: География. - 2010.- №1. - С. 21-27.
4. **Стрижевский И.В., Белоголовский А.Д.** Защита подземных металлических сооружений от коррозии: Справочник.- М.: Стройиздат, 1990. - 303 с.
5. **Медведева М.Л., Мурадов А.В., Прыгаев А.К.** Коррозия и защита магистральных трубопроводов и резервуаров: Учеб. пособие.- М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013. - 250 с.
6. **Оганесян Н.Р., Амян А.В., Кочарян А.Н., Саргсян М.Г.** Коррозионно-электрохимическое поведение стали в условиях грунтовой коррозии // Сборник материалов IV Межд. конф. по химии и хим. технологии. - Ер., 2015.-С. 101-102.
7. **Оганесян Н.Р.** Грунтовая коррозия водопроводных труб: Методические указания к лабораторным работам. - Ер.: Изд. НПУА “Чартарагет”, 2018.- 52 с.
8. **Ухловцев С.М., Реформатская И.И., Глазов И.Н.** Коррозия стали 3 в паре дифференциальной аэрации при одинаковом электрохимическом состоянии полуэлементов //Конденсированные среды и межфазные границы. - 2006. - Т. 8, №1. - С. 57-63.
9. **Арзуманян Л.П., Оганесян Н.Р., Амян А.В.** Анодное поведение стали в грунтовых электролитах // Вестник ИАА. - 2012.- Т.9, №4.- С. 886-887.

Поступила в редакцию 11.03.2025.

Принята к опубликованию 10. 09.2025.

ՏԱՐԲԵՐ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՊՈՂՊԱՍԻ ԳՐՈՒՆՏԱՅԻՆ ԿՈՌՈԶԻՍԻՎ ԿՐԱ

Ն.Ռ. Հովհաննիսյան, Հ.Ն. Քոչարյան, Ի.Մ. Պողոսյան

Ստորգետնյա պողպատե խողովակաշարերի ապահերմետիկացման՝ վթարային իրավիճակների առաջացման հիմնական պատճառը դրանց գրունտային կոռոզիան է: Նման խողովակաշարերի ապահերմետիկացումն առաջացնում է ոչ միայն մեծ տնտեսական կորուստներ, այլև սոցիալական և բնապահպանական խնդիրներ: Պողպատե խողովակաշարերի շահագործման ժամանակ առաջնային խնդիր է գրունտի կոռոզիոն ակտիվության կանխատեսումը՝ ելնելով դրա ֆիզիկաքիմիական բնութագրերից:

Հայտնի է, որ գրունտի առավել տարածված բաղադրիչները քլորիդներն են, իսկ գրունտի անհամաչափ խոնավության պատճառով պողպատի վրա առաջանում են անհամաչափ աերավորված զույգեր: Գրունտում անհամաչափ աերավորված պողպատի կոռոզիայի սխեման համանման է կոռոզիոն գավառակյան տարրի աշխատանքին, քանի որ խոնավության առկայության դեպքում գրունտը ծառայում է որպես կոռոզիաակտիվ էլեկտրոլիտ: Կաթոդային տեղամասերում հիմնական ապաբևեռացնող ռեակցիան թթվածնի վերականգնումն է, իսկ անոդային տեղամասերում, որոնց դժվարությամբ է հասնում թթվածինը, տեղի է ունենում մետաղի քայքայումը:

Ուսումնասիրվել է մոդելային գրունտի (ավազի) անհամաչափ աերավորման ազդեցությունը $Cr.3$ պողպատի կոռոզիայի արագության և բնույթի վրա: Գնահատվել են պողպատե նմուշների կոռոզիայի արագությունը, պոտենցիալը և դրանց մերձակերևության գրունտների pH-ի փոփոխությունը՝ կախված գրունտների բաժանման սահմանից եղած հեռավորությունից և շրջակա գրունտի խոնավությունից:

Ցույց է տրվել գրունտի խոնավության առաջնային դերն անհամաչափ աերավորված զույգերի ձևավորման գործում: Հաստատվել են անոդային և կաթոդային տեղամասերի առաջացումը, դրանց pH-ի և պոտենցիալի փոփոխությունները: Ավելի խոնավ գրունտը (անոդի մոտ) դառնում է թթվային, ավելի քիչ խոնավ գրունտը (կաթոդի մոտ)՝ հիմնային: Անոդային տեղամասերում պոտենցիալը կայունանում է արագ, իսկ կաթոդային տեղամասերում՝ դանդաղ: Պարզվել է, որ անոդային տեղամասերում նկատվում է ինտենսիվ հավասարաչափ կոռոզիա՝ տեղայնացման թույլ հետքերով, իսկ կաթոդային հատվածներում՝ գերազանցապես պիտինգային կոռոզիա: Անոդային տեղամասերում կոռոզիայի արագությունն առավելագույնն է գրունտների բաժանման սահմանին մոտ և նվազում է դրանից հեռանալիս:

Ելնելով անհամաչափ աերավորված զույգի հոսանքի ուժից՝ հնարավոր է գրունտների բաժանման սահմանից տարբեր հեռավորությունների վրա որոշել պողպատի կոռոզիայի ինտենսիվությունը և բացահայտել առավել կոռոզիավտանգավոր տեղամասերը:

Առանցքային բառեր. գրունտ, խոնավություն, քլորիդներ, անհամաչափ աերավորում, պիտինգային կոռոզիա:

INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON GROUND CORROSION OF STEEL

N.R. Hovhannisyanyan, H.N. Kocharyan, I.M. Poghosyan

Soil corrosion of underground steel pipelines is the main reason for their depressurization - the occurrence of emergency situations. The loss of tightness of such pipelines brings not only large economic losses, but also leads to social and environmental

problems. Forecasting the corrosion activity of soil, based on physicochemical characteristics, is a priority task in the operation of steel pipelines.

It is known that the most common components of soil are chlorides, and due to the non-uniform moisture of the soil, unevenly aerated vapors are formed on steel. The corrosion scheme of unevenly aerated steel in the soil is similar to the operation of a corrosive galvanic cell, since in the presence of moisture, the soil serves as a corrosive electrolyte. In the cathode sections, the main depolarizing reaction is the reduction of oxygen, and in the anodic sections, to which oxygen access is difficult, metal destruction occurs.

The effect of uneven aeration of the model soil (sand) on the rate and nature of corrosion of grade steel 3 is studied. The rate and potential of corrosion of steel samples and changes in the pH of their near-surface soils are estimated depending on the distance from the soil interface and the humidity of the surrounding soil.

The leading role of soil humidity in the formation of uneven aeration pairs is shown. The formation of anodic and cathodic sections, changes in their pH and potential are established. Wetter soil (near the anode) becomes acidic, less wet soil (near the cathode) becomes alkaline. In the anodic sections, the potential stabilizes faster, and in the cathodic sections - more slowly. It is found that in the anodic sections there is intense uniform corrosion with weak traces of localization, and in the cathodic sections - predominantly pitting corrosion. The corrosion rate in the anodic sections is maximum near the soil interface and decreases with distance from it.

Based on the current strength of the unevenly aerated pair, it is possible to determine the intensity of steel corrosion at different distances from the soil interface, and identify the most corrosion-hazardous areas.

Keywords: soil, humidity, chlorides, uneven aeration, pitting corrosion.