

УДК 620.193.92

Е. Ю. Старикова

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ И ГРУНТОВ

Многие металлические конструкции, такие, как нефтепроводы, газопроводы, сваи и др., эксплуатируются в подземных условиях и, соприкасаясь с почвой или грунтом, подвергаются коррозионному разрушению. Вследствие коррозии ежегодно выходит из строя 2-3% подземных сооружений.

Коррозия металлов в почвогрунтах протекает по электрохимическому механизму, и её скорость зависит от многих факторов: наличия влаги, воздухопроницаемости, pH, неоднородности и электропроводности грунтов. Величина электрической проводимости грунтов, как правило, является прямой характеристикой их коррозионной агрессивности [1].

Электропроводность грунтов – способность грунтов проводить электрический ток. Это свойство характеризуется величиной удельной электропроводности и удельного электрического сопротивления. Величина удельной электропроводности является одним из параметров для расчета катодной защиты металлических сооружений, эксплуатируемым в контакте с почвой и грунтом [1].

Электропроводность и электрическое сопротивление грунтов являются сложными и достаточно изменчивыми характеристиками. Их величина зависит от большого комплекса факторов, наиболее важными из которых являются минеральный состав грунтов, их дисперсность, структурно-текстурные особенности, влажность, химический состав и концентрация порового раствора, температура и давление. Вследствие этого удельное электрическое сопротивление может меняться в широких пределах (от 10^{-3} до 10^6) [2]. Электропроводность сухих грунтов во много раз меньше,

чем влажных, что объясняется резкой разницей удельного электрического сопротивления воздуха и воды. Поэтому трещиноватые и кавернозные сухие скальные грунты имеют очень высокое удельное электрическое сопротивление. Электропроводность сухих невязких грунтов также высокая и в основном определяется сопротивлением контактов твердой фазы между отдельными зернами.

Наличие в грунтах водных растворов резко повышает их электропроводность. Благодаря их присутствию удельное электрическое сопротивление грунтов в естественных условиях во много раз меньше сопротивления основных породообразующих минералов, т.к. жидккая компонента представляет собой природный электролит различного состава и концентрации. Для него характерна ионная электропроводность. Удельная электропроводность природных вод от 10^{-2} до 10^3 и уменьшается с увеличением концентрации.

Наибольшие изменения электропроводности с повышением влажности грунтов наблюдаются в пористых осадочных породах. Например, при увлажнении сухого песчаника на 2-3% его удельное электрическое сопротивление уменьшается на несколько порядков. С увеличением влажности до 60-80% от величины полной влагоемкости электропроводность возрастает до максимума. При дальнейшем увеличении влажности в слабозасоленных грунтах электропроводность может уменьшиться вследствие разбавления содержащегося в порах раствора электролита. Большая часть грунтов характеризуется электрической анизотропией: электропроводность слоистых грунтов вдоль напластования всегда выше, чем пер-

пендикулярно напластованию. Это свойство характеризуется коэффициентом анизотропии, т.е отношением сопротивления перпендикулярно и вдоль напластования, его величины от 1,1 до 2,75. В некоторых случаях анизотропия электрических свойств обусловлена ориентировкой пор и частиц в грунтах.

Электропроводность грунтов в значительной степени зависит от температуры. С возрастанием температуры возрастает электропроводность, при увеличении температуры на 40-50 °C электросопротивление уменьшается в два раза. С понижением температуры грунта и образованием льда в его порах электрическое сопротивление резко падает. Удельное электрическое сопротивление льда в три раза выше сопротивления чистой воды. При дальнейшем понижении температуры мерзлой толщи льдистость увеличивается, уменьшается количество незамерзшей воды, а электрическое сопротивление возрастает. С увеличением давления наблюдается повышение электропроводности, что вызвано уменьшением пористости, а при больших давлениях – увеличением площади контактов между частицами. Кроме того при этом возрастает степень влажности у неполностью водонасыщенных грунтов.

Коррозионная активность грунтов существенно зависит от химического состава грунтов и, в частности, от наличия и состава водорастворимых соединений [3]. Несмотря на то, что их содержание в грунтах обычно невелико, они играют важную роль в образовании порового электролита, формировании его удельного электрического сопротивления и тем самым влияют на протекание всего процесса коррозии. Замечено,

что с повышением содержания ионов Cl^- и SO_4^{2-} (примерно выше 0,1%) коррозионная активность грунтов обычно увеличивается: высокому содержанию хлоридов в грунтах почти всегда соответствует интенсивная коррозия металла, в меньшей степени это относится к сульфатам. Большое влияние на коррозионные свойства грунтов оказывает наличие в них катионов Ca^{+2} и Na^+ . Оба эти соединения влияют на водо- и воздухопроницаемость грунтов и тем самым определяют соотношение жидкой и гаообразной компонент в грунтах, под действием которых изменяются коррозионные свойства грунтов.

Кислотность грунтов в большинстве случаев не оказывает непосредственного влияния на скорость коррозии. Достаточно интенсивная коррозия может происходить и в кислых грунтах ($\text{pH} = 3\text{-}4$), и в щелочных ($\text{pH} < 14$), и в нейтральных ($\text{pH} = 7$). Однако при высоких значениях кислотности ($\text{pH}=2\text{-}3$) и щелочности ($\text{pH}=11\text{-}14$) грунтов всегда наблюдается наиболее интенсивная коррозия. При кислотности, близкой к нейтральной, интенсивность коррозии зависит от других факторов. Наиболее часто встречающееся значение pH водных вытяжек 6,5-7,2 [4].

На коррозионную активность грунта огромное влияние оказывает их влажность. В абсолютно сухих грунтах коррозия не наблюдается из-за отсутствия электролитов. Предельная влажность, обеспечивающая возрастание скорости до максимальной, наблюдается в связанных грунтах и составляет до 10-12%, а в песках она несколько ниже. При последующем увели-

чении влажности максимальная скорость коррозии остается практически постоянной до некоторого предела влажности (20-25%). При этой влажности еще не создается сплошной непрерывный слой воды в порах грунта, который препятствовал бы проникновению к поверхности металла воздуха из атмосферы, необходимого для протекания процесса электрохимической коррозии. При полном насыщении пор водой или влажности, близкой к полной влагоемкости, образуется сплошной слой водного раствора, затрудняющий проникновение воздуха к металлу и скорость коррозии резко падает.

Коррозионная активность грунтов также зависит от насыщенности их газами. В частности, с неодинаковой степенью насыщенности грунтов газами на разной глубине связаны скопления глубоких раковин на нижней поверхности труб по сравнению с верхней поверхностью. Это объясняется образованием аэрационных пар с появлением анодных зон на нижних частях труб, к которым доступ кислорода затруднен.

Для изучения коррозионной активности почв был разработан и изготовлен лабораторный стенд, состоящий из трёх частей, на котором определялась коррозионная активность почв по трём показателям: потеря массы стального стандартного образца, удельному электрическому сопротивлению грунта и плотности катодного тока. Кроме того, для дополнительной оценки коррозионной активности, определялись значения pH водных вытяжек проб грунта.

Для определения коррозионной активности производили

отбор и обработку проб испытываемого грунта. Пробы массой 1,5÷2 кг отбирали в траншеях из слоев, расположенных на глубине прокладки водо- и теплопроводов, удаляли твердые включения размером более 3 мм, просушивали при температуре не выше 105 °C, размельчали в ступке до порошкообразного состояния и просеивали через сито с отверстиями 1,5÷2,5 мм. Подготовленную пробу грунта увлажняли дистиллированной водой до достижения влажности, соответствующей влагонасыщению.

Для подготовки водной вытяжки пробу грунта помещали в колбу емкостью 1 л, заливали дистиллированной водой (отношение 1:5), колбу закрывали пробкой и содержимое взбалтывали в течение 5 мин. Полученную суспензию фильтровали через фильтр [6].

1. Определение потери массы производилось на установке, состоящей из стального стакана высотой 110 мм и внутренним диаметром 80 мм, источника постоянного тока с выходным напряжением 6 В и стальной трубки длиной 100 мм с внутренним диаметром 20 мм. Перед испытанием поверхность трубы зачищали, обезжиривали и взвешивали с точностью до 0,1 г. Трубку устанавливали в стакан и изолировали от дна резиновой пробкой. Стакан заполняли испытуемым грунтом на 5 мм ниже верхнего конца трубы и тщательно уплотняли. К трубке подключали положительный, а к стакану – отрицательный полюс источника постоянного тока. Трубка находилась под током в течение 24 ч при напряжении между трубкой и банкой – 6 В. После отключе-

Таблица 1. Коррозионная активность почв и грунтов по отношению к стали [5]

Коррозионная активность грунта	Удельное электросопротивление грунта ρ , Ом · м	Потеря массы стандартного образца Δm , г	Средняя плотность катодного тока i_K , $\text{mA}/\text{см}^2$
Низкая	Свыше 50	До 1	До 0,5
Средняя	20 ÷ 50	1 ÷ 2	0,5 ÷ 2,0
Высокая	До 20	Свыше 2	Свыше 2,0

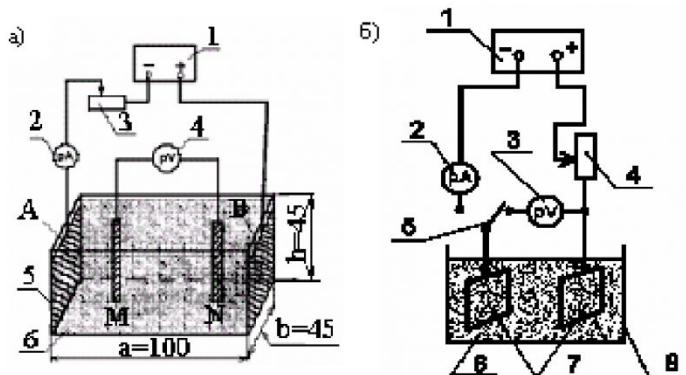


Рис. 1. Схема лабораторной установки а) определение удельного электросопротивления грунта: 1 - источник постоянного тока, 2 - миллиамперметр, 3 - регулятор тока, 4 - милливольтметр, 5 - ячейка, А, В - внешние электроды, М, Н - внутренние электроды; б) построение поляризационных кривых: 1 - источник постоянного тока, 2 - миллиамперметр, 3 - милливольтметр, 4 - регулятор тока, 5 - ключ, 6 - грунт, 7 - электроды, 8 - ячейка

ния тока трубку извлекали из грунта, очищали, промывали и подвергали катодному травлению при напряжении 6 В в 8 %-ном растворе гидрата окиси натрия в течение 15 – 20 мин. После удаления продуктов коррозии образец промывали дистиллированной водой, высушивали и взвешивали с точностью до 0,1 г и определяли потерю массы образца [7].

2. Удельное электросопротивление грунта определяли на установке (рис.1 а), схема которой включает в себя: источник постоянного тока (1), ячейку (5) из диэлектрического материала, милливольтметр (4), миллиамперметр (2), регулятор тока (3), внешние (А и В) и внутренние (М и Н) электроды. Внешние электроды – из стали размером 40×44 мм. Внутренние электро-

ды – из медной пластины. Ячейку заполняли грунтом на 4 мм ниже верхней кромки. Внутренние электроды устанавливали в грунт вертикально, опуская их до дна по центральной линии ячейки на расстоянии 50 мм друг от друга и 25 мм от внешних электродов. Внешние электроды подсоединяли к источнику постоянного тока последовательно с миллиамперметром, а внутренние подсоединяли к милливольтметру. Ступенчато устанавливали значение силы тока 1, 2 и 3 мА и снимали показания вольтметра. Затем изменяли полярность внешних электродов и повторяли измерения и определяли среднее значение сопротивления грунта $R_{CP} = \sum R_i / n$, где n – число замеров. По измеренным вели-

чинам рассчитывали удельное сопротивление грунта ρ , Ом·м, по формуле $\rho = R_{CP} (S/l)$, где S – площадь поверхности одной стороны внешних электродов, m^2 ; l – расстояние между внутренними электродами, м [7].

3. Упрощённые поляризационные кривые строили с помощью установки (рис.1 б), схема которой включает в себя: источник постоянного тока (1), ячейку (8) из диэлектрического материала, милливольтметр (3), миллиамперметр (2), регулятор тока (4), ключ (5) и стальные электроды (7) размером 20×50 мм. В ячейку с грунтом устанавливали электроды и предварительно выдерживали их в течение 15 минут. Один электрод присоединяли к положительному полюсу источника тока, другой – к отрицательному. Для снятия поляризационных кривых электроды поляризовали при постепенном увеличении силы тока. Последнее значение силы тока соответствовало разности потенциалов между электродами около 0,6 В. Продолжительность поддержания каждого значения силы тока – 5 минут. Измерение разности потенциалов между электродами производили в момент разрыва цепи поляризации ключом. По измеренной силе тока и площади электродов определяли плотность тока. На основании полученных данных строили упрощенные поляризационные кривые зависимости разности потенциалов от плотности катодного тока $U=f(i)$ и определяли плотность тока, соответствующую разности потенциалов 0,5 В [6]. На рис. 2 приведены примеры нескольких поляризационных кривых, построенных на основании экспериментальных данных.

4. Определение pH водных вытяжек проб грунта производилось с помощью pH-метра-милливольтметра pH-150MA.

В ходе эксперимента исследовались 20 проб грунта, отобранных в различных частях г.

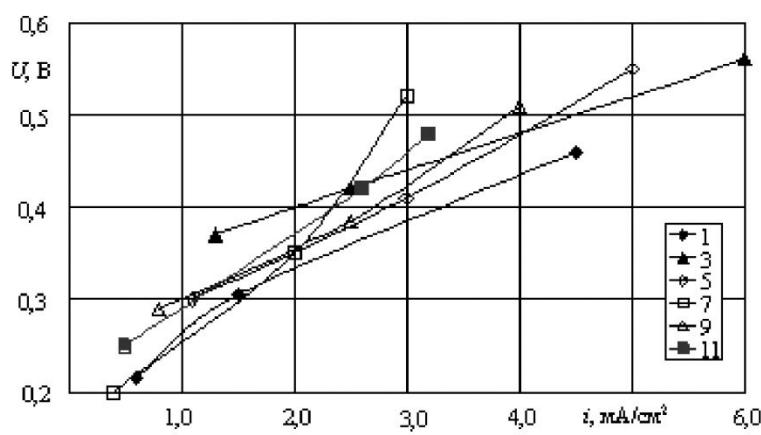


Рис. 2. Поляризационные кривые

Таблица 2. Результаты определения коррозионной активности проб грунтов

№ п/п	Потеря массы образца, Δm , г	Удельное электросопротивление, ρ , Ом·м	Плотность катодного тока при 0,5 В, i_K , мА/см ²	pH водной вытяжки
1	2,47	1,05	5,27	8,2
2	2,34	1,29	5,47	8,2
3	3,3	0,49	4,5	7,4
4	2,05	1,29	3,23	8,1
5	3,24	0,86	4,29	8,3
6	4,62	0,35	3,25	7,1
7	2	7,47	2,88	7,9
8	4	0,79	7,33	7,8
9	3,05	1,63	3,88	7,5
10	4,07	0,85	5,06	8,4
11	3,2	1,61	2,35	8,3
12	4,05	0,8	7,43	8,1
13	2,14	1,7	2,98	6,5
14	4,74	0,39	3,75	7,0
15	2,41	1,36	5,37	7,7
16	4,27	0,91	5,66	7,6
17	2,15	1,42	3,43	7,5
18	2,47	1,25	5,37	7,8
19	3,45	0,59	4,75	8,4
20	3,54	0,96	4,45	7,1

Кемерово и Кемеровского района. Результаты всех экспериментов сведены в табл. 2. Коррозионную активность грунта определяли по показателю, характеризующему наибольшую коррозионную активность. Грунты, обладающие высокой коррозионной активностью, согласно ГОСТ (табл. 1) [5],

имеют удельное электросопротивление менее 20 Ом·м, катодный поляризующий ток более 2,0 мА/см² и потерю массы стального образца более 2 г. Все исследованные пробы грунта имеют высокую коррозионную активность по отношению к стали.

Знание коррозионной активности почв и грунтов даёт возможность определить срок службы металлических сооружений, находящихся с ними в контакте, и спроектировать соответствующую защиту от коррозии [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Защита подземных металлических сооружений от коррозии: Справочник / И.В. Стрижевский, А. В. Белоголовский, В. И. Дмитриев и др.- М.: Стройиздат, 1990. - 303 с.
2. Трофимов В.Т. Грунтоведение. - М.: Наука, 2005. - 1023 с.
3. Стрижевский И. В. Подземная коррозия и методы защиты. - М.: Металлургия, 1986. - 112 с.
4. Теплинский Ю.А. Проведение исследований на участках магистральных газопроводов, подверженных КРН // Коррозия: материалы, защита, 2005, № 6, с. 10-18.
5. ГОСТ 9.602-89. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. Введ. в действ. 01.01.1991.
6. Волков Б.Г. Справочник по защите подземных металлических сооружений от коррозии - Л.: Недра, 1975. - 224 с.
7. Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии. РД 153-39.4-091-01-СПб.: Издательство ДЕАН, 2002. - 240 с.
8. Сборник руководящих материалов по защите городских подземных трубопроводов от коррозии. - Л.: Недра, 1987. - 408 с.

Автор статьи:

Старикова
Елена Юрьевна
- канд.техн.наук, доц. каф. процессов,
машин и аппаратов химических
производств