

УДК 620.193

Л. А. Тутыхин, К. С. Киселев, С. В. Романов, В. А. Копцов,
А. А. Ольхов, Г. Е. Заиков, Х. С. Абзальдинов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОДЗЕМНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Ключевые слова: коррозия, электрическое сопротивление, влажность, трубопроводы, металлические конструкции, блуждающие токи.

В данной исследовательской работе разработаны и апробированы методики экспериментального определения электрического сопротивления трубопроводов и их изолирующих покрытий в условиях повышенной влажности. Полученные результаты показывают перспективность использования данных методик для прогнозирования протекания коррозионных процессов в реальных условиях эксплуатации подземных металлических конструкций.

Keywords: corrosion, electrical resistance, humidity, pipelines, steel structures, stray currents.

In the given research work the experimental determination methods of the pipes and insulating coatings electrical resistance in conditions of high humidity were developed and tested. The results show the prospects of these methods using for predicting the corrosion processes under real operating conditions of underground metal constructions.

Введение

Защита подземных металлических конструкций от коррозионных разрушений до сих пор остается сложной инженерно-технической проблемой. Одними из главных препятствий на пути ее решения являются эксплуатация в условиях повышенной влажности и наличие блуждающих токов [1]. Известно [2], что удельное электрическое сопротивление влажного песчано-глинистого грунта почти в 3 раза ниже по сравнению с аналогичным видом сухой почвы, что значительно повышает ее коррозионную агрессивность. Блуждающие токи являются одной из основных причин серьезных коррозионных разрушений подземных коммуникаций и сооружений в промышленной зоне. Их возникновение связано с утечкой в грунт постоянного тока, потребляемого наземным и подземным рельсовым транспортом, электросварочными агрегатами и т. д. Интенсивность коррозионных повреждений находится в прямой зависимости от силы блуждающих токов, величина которых, в некоторых случаях, может достигать 200-500 А [3].

Совокупность таких неблагоприятных условий эксплуатации создает предпосылки для создания надежных методов контроля над состоянием подземных коммуникаций. Однако такие средства мониторинга не всегда гарантируют готовность подземной системы к восприятию аварийных токовых нагрузок.

Исходя из этого, разработка методик экспериментального анализа диэлектрических свойств подземных трубопроводов и конструкций, работающих в условиях повышенной коррозионной активности, является актуальной задачей.

Экспериментальная часть и описание разработанных методик

Для моделирования электрохимических процессов, протекающих в зонах коррозионной опасности металлических конструкций теплотрасс, были разработаны три экспериментальные методики, позволяющие оценить влияние влажности на величину электрического сопротивления материала теплоизоляции и продуктов коррозии стального трубопровода, которые в сухом виде являются диэлектриками.

1. Методика определения зависимости электрического сопротивления от степени увлажнения (остаточной влажности) продуктов коррозии стали

От стальной трубы отделяют три пластины продуктов коррозии шириной 50-60 мм и толщиной 2-3 мм, после чего взвешивают их с точностью до 0,01 г. и погружают в дистиллированную воду. Поверхностную влагу удаляют фильтровальной бумагой. Образцы взвешивают и определяют содержание остаточной влаги (В, %) по формуле:

$$B = (m_2 - m_1) / m_1 \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

где m_1 – масса сухого образца, г; m_2 – масса влажного образца, г;

Методика измерения электрического сопротивления образцов

На стальной пластине устанавливают полый цилиндр из полимерного диэлектрического материала диаметром 30-40 мм и высотой 20-30 мм, в который до верхнего уровня засыпают графит. После этого сверху кладут образец, устанавливают на него второй цилиндр и снова засыпают графит. Конструкцию накрывают стальной пластиной, на которую ставят груз массой 200 г для плотного контакта деталей собранной установки с токопроводящими поверхностями образца. К

стальным пластинам прикрепляют контакты мегомметра и измеряют электрическое сопротивление. Затем образец извлекают из конструкции стенда, сушат в термошкафе при температуре 150 °С в течение заданного времени, взвешивают, определяют остаточное содержание влаги и снова измеряют величину электрического сопротивления. Измерения проводят до тех пор, пока масса образца после сушки не станет равной массе сухого образца. Строят зависимость величины электрического сопротивления от остаточного содержания влаги в образцах.

2. Методика определения электрического сопротивления теплоизоляции стальных трубопроводов при различных степенях увлажнения

В качестве теплоизоляции стальных трубопроводов использовалась мелкодисперсная минеральная вата.

Подготовку и испытания образцов можно проводить двумя способами.

Способ 1

Сухую измельченную минеральную вату взвешивают и засыпают в цилиндр, изготовленный из диэлектрического полимерного материала, который имеет следующие геометрические размеры: высота - 10 мм, внутренний диаметр - 20 мм, внутренний объем - 3,14 см³.

Измерения проводят на лабораторном стенде. Нижний контакт основания стенда смазывают графитовой смазкой и устанавливают образец, на верхнюю поверхность которого насыпают графитовый порошок. Устанавливают верхний контакт стенда и измеряют мегомметром электрическое сопротивление. Далее при помощи шприца производят увлажнение образца и снова измеряют электросопротивление. Измерения проводят с интервалом 2-3 минуты до тех пор, пока показания мегомметра не стабилизируются.

Способ 2

Навеску измельченной минеральной ваты массой 0,24 г. увлажняют водой и хорошо перемешивают до тестообразного состояния. Излишки жидкости механически отжимают и промакивают фильтровальной бумагой. Образец в виде плоского диска взвешивают с точностью до 0,01 г. Содержание остаточной влаги определяют по методике 1. Далее образец укладывают на специально сконструированный стенд для измерения величины электрического сопротивления. Стенд состоит из пластины гетинакса или стеклотекстолита с нанесенными на неё двумя параллельными полосками облуженной меди. Ширина полосок - 10 мм, длина - 50 мм, расстояние между ними - 10 мм. К концам полосок припаяны электрические контакты для присоединения мегомметра. Образец минеральной ваты укладывают на токопроводящие пластины и плотно прижимают. Определяют величину

электрического сопротивления. Затем образец сушат в термошкафе при 150 °С заданное время, взвешивают и определяют содержание влаги. После этого измеряют величину электрического сопротивления. Эксперимент проводят до тех пор, пока образец полностью не высохнет.

Затем строят зависимость величины электрического сопротивления от содержания воды в образцах.

3. Методика моделирования реальных условий изменения влажности в тепловых камерах

Образцы минеральной ваты в виде небольших кусков призматической формы в количестве 4 штук, предварительно взвешенные с точностью до 0,01 г, помещают в верхнюю часть закрытой камеры на решетку, установленную над водяной баней с температурой воды 95-100 °С. Через определенное время (15, 30, 45 и 60 мин.) достают один образец и взвешивают его с заданной точностью, определяя затем содержание воды.

С помощью данной методики и зависимостей величины электрического сопротивления от содержания воды, полученных по методике 2, можно определить время, когда материал теплоизоляции станет токопроводящим при 100% влажности воздуха.

Результаты и их обсуждение

На рисунках 1 и 2 показаны зависимости величины электрического сопротивления от объема воды, добавляемой к образцу минеральной ваты и времени процесса пропитки водой образца соответственно.

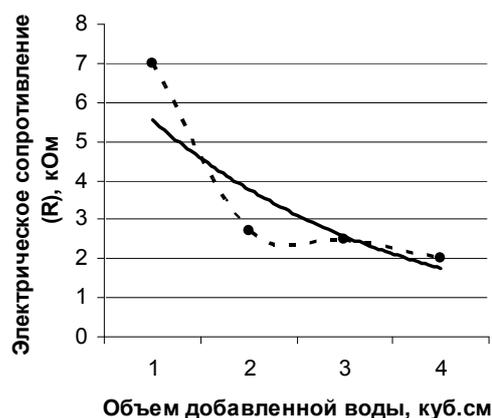


Рис. 1 - Зависимость электропроводности мелкодисперсной минеральной ваты от объема воды, добавленной к навеске образца (сплошная линия показывает экспоненциальную зависимость)

Как видно из представленных зависимостей, одновременное добавление воды в количестве 30 об. % от объема образца минеральной ваты резко снижает электрическое сопротивление материала с нескольких мегаом (для сухого образца) до 7 кОм, что свидетельствует о возникновении

проводниковых свойств. Дальнейшее увеличение объема добавляемой воды практически не влияет на электропроводность материала.

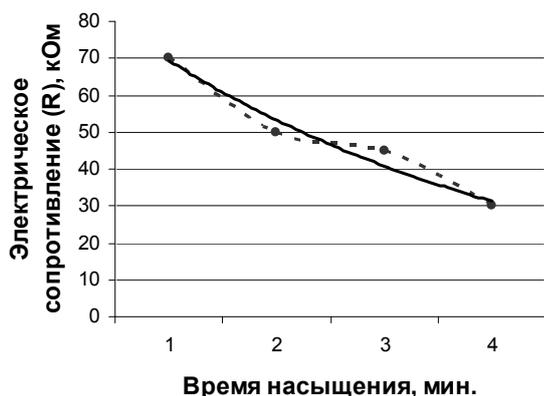


Рис. 2 - Зависимость величины электрического сопротивления от времени процесса пропитки (насыщения) образца минеральной ваты водой (сплошная линия показывает экспоненциальную зависимость)

Данные рис. 2 говорят о том, что процесс пропитки минеральной ваты водой протекает практически мгновенно, в течение менее 1 минуты. За это время материал успевает полностью смочиться водой и образовать непрерывную поверхностную токопроводящую пленку.

В таблице 1 представлены зависимости величины электрического сопротивления от содержания остаточной влаги в образцах продуктов коррозии.

Таблица 1 – Зависимость электрического сопротивления образцов продуктов коррозии от влагосодержания

№ образца	Электрическое сопротивление R, кОм	Влагосодержание, % масс.
1	32	5,4
	73	5,0
	6160	3,1
	6430	2,5
2	30	9,0
	70	8,5
	2020	6,7
	2420	5,9
3	50	4,5
	85	3,7
	8000	2,2
	9580	1,7

Видно, что ниже области содержания остаточной воды 3,5 – 8 масс. % наблюдается резкое увеличение величины электрического сопротивления. По всей видимости, в данной концентрационной области токопроводящая поверхностная пленка воды постепенно теряет свою непрерывность, и материал начинает проявлять диэлектрические свойства. Разброс данных по

электрическому сопротивлению различных образцов продуктов коррозии может объясняться их различием в плотностях и наличием гидрофильных химических групп на поверхности.

Для анализа элементного состава образцов с целью прогнозирования механизма коррозионных процессов в типовых марках стали, использующихся для изготовления тепловых труб, был использован рентгенофлуоресцентный метод анализа. В результате был рассчитан элементный состав образцов продуктов коррозии (таблица 2).

Таблица 2 – Элементный состав образцов продуктов коррозии

№ образца	Элементный состав, % масс.					
	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Ni
1	97,83	0,58	0,07	0,05	0,04	-
2	96,95	0,25	-	0,04	0,09	0,03
3	95,18	0,22	0,05	0,03	0,06	-

Как показывают данные таблицы, образцы 1 и 3 содержат в своем составе цинк при отсутствии никеля. В образце 2 наблюдается обратная картина. Как правило, легирующая добавка никеля улучшает стойкость стали к окислительной деструкции в присутствии воды, что подтверждается экспериментом по установлению зависимости электрического сопротивления от содержания влаги в образцах продуктов коррозии (таблица 1). Образец 2 характеризуется более высокими диэлектрическими показателями, поскольку переход от состояния диэлектрика в состояние проводника наступает в нем при более высоком содержании воды по сравнению с образцами 1 и 3. По-видимому, это связано с кинетикой коррозионных процессов и влиянием на них различных легирующих добавок. В случае присутствия цинка коррозия протекает быстрее, а продукты коррозии обладают большой пористостью. Присутствие в стали никеля замедляет реакции гидролиза железа и, соответственно, слой продуктов коррозии на трубах характеризуется большей плотностью.

На рис. 3 представлена зависимость электрического сопротивления от времени выдержки образцов минеральной ваты при 100% влажности и температуре 95-100 °С.

Как видно из зависимости, время выдержки теплоизоляции из минеральной ваты в условиях, моделирующих температурно-влажностные условия аварии на теплотрассе, когда она из диэлектрика ($R > 5 \text{ Мом}$) превращается в проводник ($R < 100 \text{ кОм}$) составляет менее 1 минуты.

На рис. 4 представлены результаты эксперимента по кинетике насыщения (увлажнения) образца мелкодисперсной минеральной ваты в условиях 100% влажности при температуре 100°С.

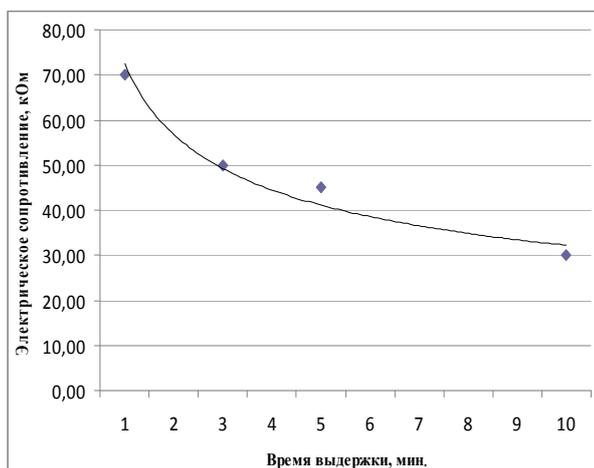


Рис. 3 - Зависимость величины электрического сопротивления мелкодисперсной минеральной ваты от времени выдержки образцов при температуре 95-100 °С и относительной влажности 100%.

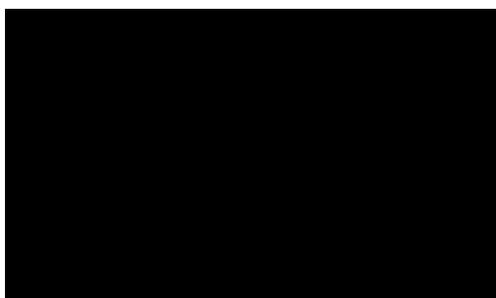


Рис. 4 - Зависимость относительной влажности образцов минеральной ваты от времени выдержки при 100% влажности и температуре 95-100 °С

В ходе эксперимента имитируются условия, когда подземный канал, в котором находятся трубопроводы тепловых сетей, не вентилируется.

Заранее подготовленные образцы минеральной ваты после взвешивания помещают в паровую баню, представляющую собой закрытую емкость, соединенную с атмосферой для поддержания необходимого давления. Через определенные интервалы времени образцы вынимают и взвешивают. Когда масса образцов перестанет изменяться, считают, что материал достиг 100% влажности.

По результатам эксперимента видно, что минеральная вата в указанных условиях в течение нескольких десятков минут (около 1,5 часа) достигает таких значений влажности, когда ее электропроводность резко увеличивается и она становится проводником.

Выводы

1. Разработаны экспериментальные методики, позволяющие оценить влияние влажности на величину электрического сопротивления материала теплоизоляции и продуктов коррозии стального трубопровода.
2. Показано, что разработанные методики позволяют спрогнозировать протекание электрохимических процессов в реальных условиях эксплуатации стальных трубопроводов и конструкций.

Литература

1. Ромейко В.С., Баталов В.Г., Готовцев В.И., Дубенчак В.Е., Симонова И.А. Защита трубопроводов от коррозии/ М.: «ВНИИМП», 1998, 208 с.
2. Структура и коррозия металлов и сплавов. Справочник/ под. ред. Е.А. Ульянина. М.: Металлургия, 1989, 400 с.
3. Schweitzer P.A. Fundamentals of corrosion: mechanisms, causes and preventative methods/ New York: CRC Press, 2010, 425 p.

© Л. А. Тутыхин, К. С. Киселев, С. В. Романов, В. А. Копцов – сотрудники ОАО «ВНИПИэнергопром», г. Москва; А. А. Ольхов – сотр. МИТХТ им. М.В. Ломоносова; Г. Е. Заиков - д-р хим. наук, проф. ИБХФ им. Н.М. Эмануэля РАН; Х. С. Абзальдинов – канд. хим. наук, доц. каф. технологии пластических масс КНИТУ, ov_stoyanov@mail.ru.