

12

М.В. Жуков, Ю.В. Прыкина,
И.М. Гатауллина, В.Н. Панов,
ОАО «РосНИТИ»;
Е.Я. Кузнецова, ОАО «ВТЗ»

Анализ методов определения площади отслаивания защитного покрытия при катодной поляризации, приведенных в стандартах: ГОСТ Р 51164-98; ГОСТ 9.602-2005; CAN/CSA Z245.20-10; CAN/CSA Z245.21-10; NF A 49-711

В настоящее время основными направлениями повышения коррозионной стойкости труб является совершенствование технологии выплавки стали, производства труб и применение защитных полимерных покрытий.

При производстве труб с защитным полимерным покрытием одним из важных технических показателей, характеризующих качество сформированного покрытия, является площадь отслаивания при катодной поляризации.

Целью данной работы являются анализ методов определения площади отслаивания защитного покрытия при катодной поляризации, сравнительная оценка требований к методикам проведения испытания, предложения по получению опытных данных и методу оценки площади отслаивания, способствующих повышению точности результатов испытания.

В качестве объекта анализа были выбраны наиболее известные нормативно-технические документы (НТД), устанавливающие требования к защите от коррозии наружной поверхности стальных газонефтепроводов и подземных сооружений:

- ГОСТ Р 51164-98 «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии» [1];
- ГОСТ 9.602-2005 «Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии» [2];
- CAN/CSA Z245.20-10 «Наружное покрытие стальных труб эпоксидным праймером» [3];

- CAN/CSA Z245.21-10 «Наружное покрытие труб полиэтиленом» [4];
- NF A 49-711 «Стальные трубы. Трехслойное наружное покрытие на основе полипропилена» [5].

На первый взгляд методики по определению площади отслаивания защитного покрытия при катодной поляризации в рассматриваемых НТД схожи, но на самом деле имеются отличительные особенности как в подготовке к проведению испытания, так и в методах оценки площади отслаивания.

ТРЕБОВАНИЯ К ОБРАЗЦАМ

Требования к образцам приведены в таблице 1.

По CAN/CSA Z245.20-10 (п. 12.8.3.1), CAN/CSA Z245.21-10 (п. 12.3.2.2), NF A 49-911 (п. К. 3.4.) к испытаниям по определению площади отслаивания защитного покрытия при катодной поляризации допускаются образцы, прошедшие контроль сплошности покрытия при помощи искрового дефектоскопа.

По ГОСТ Р 51164-98 и ГОСТ 9.602-2005 требования к контролю сплошности покрытия образцов перед проведением испытания отсутствуют.

Однако нарушение сплошности покрытия на образцах может привести к появлению катодных зон, что, в свою очередь, будет

Таблица 1.

ОБОЗНАЧЕНИЕ НТД	ТРЕБОВАНИЯ К ОБРАЗЦАМ	
	Тип	Размеры
ГОСТ Р 51164-98	трубки с наружным покрытием	наружный диаметр 38 мм, длина 180 мм
	пластина или карта (сегмент) с наружным покрытием	100 x 100 мм толщиной более 1,5 мм
ГОСТ 9.602-2005	трубки с наружным покрытием	диаметр не менее 76 мм, длина не менее 150 мм
CAN/CSA Z245.20-10	пластина или карта (сегмент) с наружным покрытием	100 x 100 x 6,4 мм или толщина стенки трубы
CAN/CSA Z245.21-10	карта (сегмент) с наружным покрытием	100 x 100 x 6,4 мм или толщина стенки трубы
NF A 49-711	карта (сегмент) с наружным покрытием	80 x 80 мм x толщина стенки трубы, мм

способствовать увеличению площади отслаивания и получению недостоверных результатов эксперимента.

При испытаниях образцов в виде трубок по ГОСТ 9.602-2005 (п. Л.3.) и ГОСТ Р 51164-98 (п. В.3.2) площадь контакта покрытия образца с электролитом должна быть не менее 358 см² и 232 см² соответственно. При расчете площади наружной поверхности образца по формуле (1) с минимально допустимыми значениями размеров образцов, приведенными в таблице 1, получаем следующие результаты:

$$S = \pi \cdot D \cdot l, \quad (1)$$

где: π – число Пи;

D – наружный диаметр образца, см;

l – длина образца, см

- по ГОСТ 9.602-2005 площадь наружной поверхности образца составляет:

$$S_1 = 3,14 \cdot 7,6 \cdot 15 = 357,96 \approx 358 \text{ см}^2;$$

- по ГОСТ Р 51164-98 площадь наружной поверхности образца составляет:

$$S_2 = 3,14 \cdot 3,8 \cdot 18 = 214,776 \approx 215 \text{ см}^2.$$

Расчетное значение площади наружной поверхности образца с покрытием не соответствует требованиям ГОСТ Р 51164-98. Следовательно, требования к размерам образцов или площади контакта поверхности образцов с электролитом некорректны.

При подготовке образца в покрытии сверлят отверстие до образования в металле углубления. Металл при этом не должен быть перфорирован. По ГОСТ Р 51164-98 (п. В.3.1) и ГОСТ 9.602-2005 (п. Л.3.1.) диаметр конического отверстия должен быть в три раза больше толщины покрытия, но не менее 6 мм; по NF A 49-711 (п. К.2.3.3.) диаметр плоскостонного отверстия должен быть 6 мм с глу-

биной не более 0,5 мм; по CAN/CSA Z245.20-10 (п. 12.8.3.2) необходимо в центре образца просверлить отверстие 3,0 или 3,2 мм, чтобы была видна стальная подложка; по CAN/CSA Z245.21-10 (п. 12.3.3.1) необходимо в центре образца просверлить отверстие 6,4 мм, чтобы была видна стальная подложка. Таким образом, в стандартах NF A 49-711, CAN/CSA Z245.20-10 и CAN/CSA Z245.21-10 диаметр наносимого отверстия не зависит от толщины покрытия. Специалистами ОАО «ВТЗ» проведены исследовательские работы по определению влияния размера и типа дефекта, наносимого на образцы с покрытием, на значение площади отслаивания. Образцы отбирались от одной трубы с трехслойным полиэтиленовым покрытием, что исключало влияние возможных различий в качестве подготовки поверхности и свойствах самого покрытия. Результаты исследования приведены в таблице 2.

Исследования показали, что при увеличении диаметра наносимого дефекта наблюдается увеличение значения площади отслаивания покрытия. Также было установлено, что на образцах с плоскостонным типом дефекта значение площади отслаивания меньше, чем на образцах с коническим типом дефекта.

Поэтому сопоставление результатов испытаний при различных значениях диаметра и типа нанесенного дефекта на образцах с покрытием некорректно.

ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ И СРЕДСТВАМ ИЗМЕРЕНИЯ

Сравнивая требования, предъявляемые к оборудованию и средствам измерения, для определения площади отслаивания покрытия при катодной поляризации

рассматриваемых НТД по ГОСТ 9.602-2005 и ГОСТ Р 51164-98 требования к приборам и оборудованию схожи.

По NF A 49-711, CAN/CSA Z245.20-10 и CAN/CSA Z245.21-10 потенциал на образце устанавливается при использовании каломельного контрольного электрода в отличие от ГОСТ Р 51164-98 и ГОСТ 9.602-2005, где требуется использовать хлорсеребряный электрод. Для сравнения, потенциал каломельного электрода при температуре 25 °C составляет 0,2412 В против 0,222 В хлорсеребряного электрода.

Также стоит отметить, что по ГОСТ 9.602-2005 необходимо использовать электролит более сложного химического состава в отличие от других стандартов. Различия в применяемых электролитах и электродах сравнения накладывают определенные ограничения на возможность сопоставления результатов испытаний, приведенных в рассматриваемых НТД.

Площадь отслаивания покрытия по ГОСТ 9.602-2005, ГОСТ Р 51164-98 и NF A 49-711 определяют взвешиванием бумаги с известной плотностью, площадью, равной площади отслаивания покрытия. Но при этом требований к весам в ГОСТ 9.602-2005 и ГОСТ Р 51164-98 нет. В ГОСТ 9.602-2005 также отсутствует требование на оборудование для поддержания требуемых значений температуры испытания.

ТРЕБОВАНИЯ К ПОРЯДКУ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЯ

В зависимости от типа используемого электрода для испытаний образцов в виде трубок по ГОСТ 9.602-2005 (п. Л.3.1.) и ГОСТ Р 51164-98 (п. В.3.2) собирают одну из двух электрических схем, представленных на рисунке 1.

Таблица 2.

Температура испытания, °C	Длительность испытания, сутки	Искусственный дефект		Отслаивание	
		Тип дефекта	Диаметр, мм	Среднее арифметическое значение приращения радиуса, ΔR , мм	Среднее арифметическое значение площадь отслаивания, S, см ²
20	30	конический	6	1,2	0,27
			12	1,3	0,53
80	30	конический	6	11,3	6,1
		плоскостонный		9,5	4,6

ИСПЫТАНИЯ ПОКРЫТИЙ

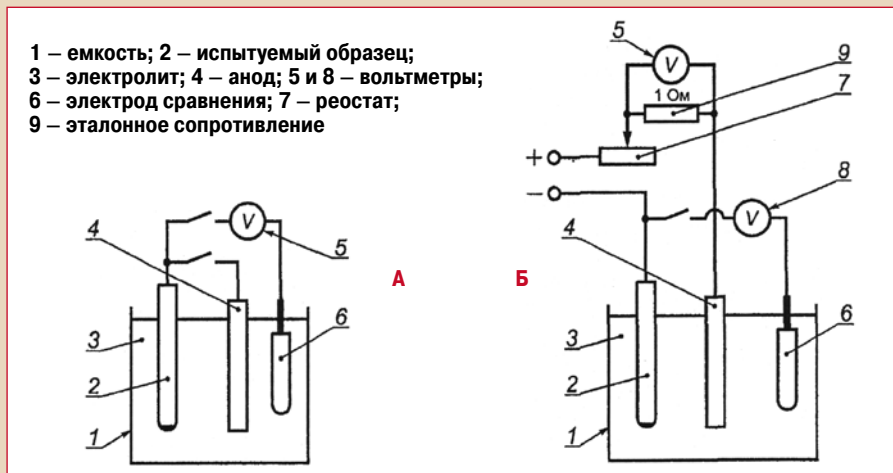


Рис. 1. Электрические схемы для испытания одного образца в виде трубки, с использованием магниевого (А) и инертного (Б) анода по ГОСТ 9.602-2005 и ГОСТ Р 51164-98

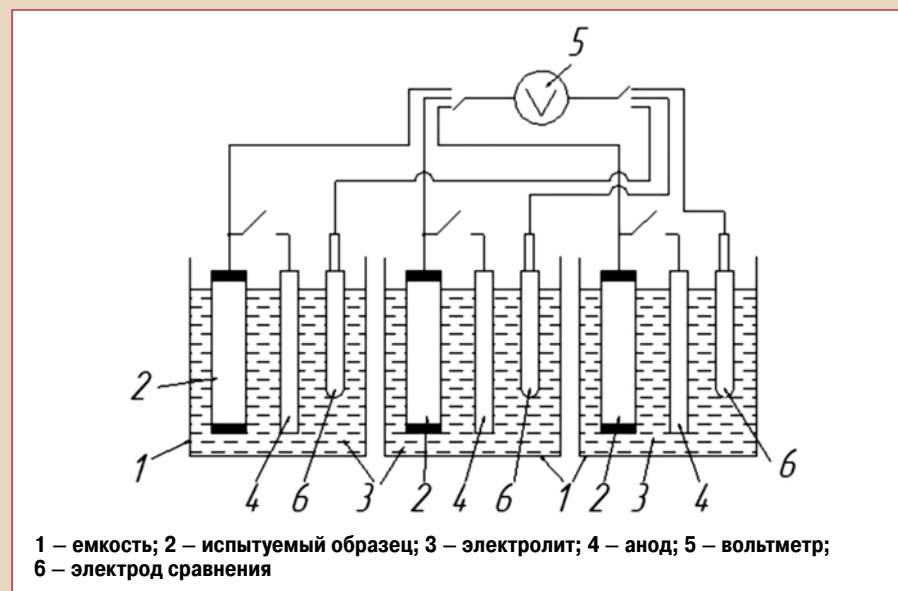


Рис. 2. Электрическая схема для испытаний трех образцов в виде трубок, с использованием магниевого анода

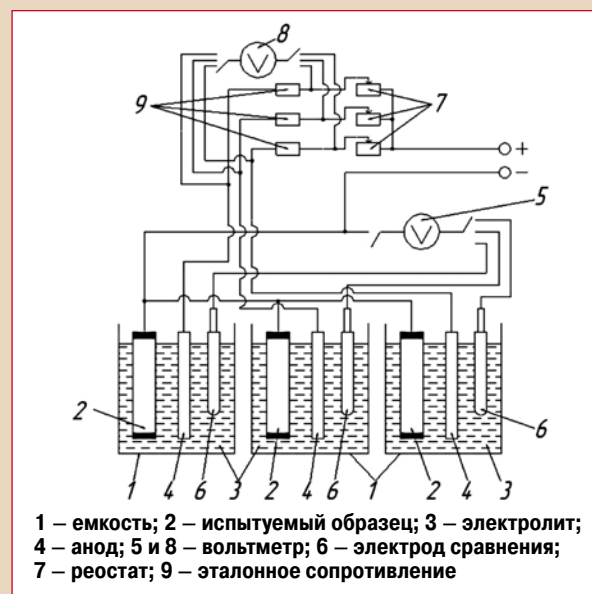


Рис. 3. Электрическая схема для испытаний трех образцов в виде трубок, с использованием инертного анода

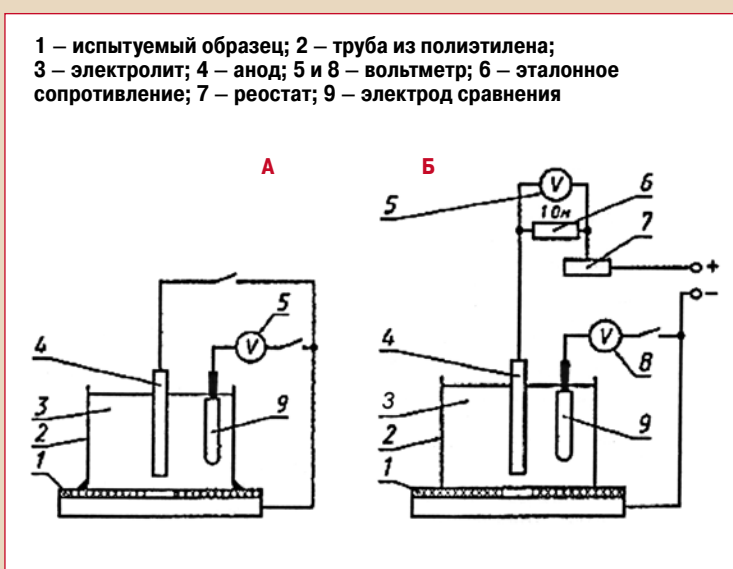


Рис. 4. Электрические схемы для испытания одного образца в виде пластины с наружным покрытием или карты (сегмента), с использованием магниевого (А) и инертного (Б) анода

На представленных электрических схемах отображено подключение в электрическую цепь одного испытуемого образца, но в соответствии с требованиями ГОСТ 9.602-2005 и ГОСТ Р 51164-98 необходимо три испытуемых образца поместить вертикально, симметрично центру в плоскодонную емкость с электролитом, а в центре емкости разместить анод. Собрать электрическую схему с тремя образцами и одним анодом, не представляется возможным установить необходимое значение потенциала на каждом образце в отдельности. Чтобы получить достоверные результаты и возможность установить одинаковый потенциал на каждом образце, сотрудники лаборатории покрытий ОАО «РосНИТИ» предлагают собирать электрические схемы, представленные на рисунках 2 и 3.

После сборки электрической схемы и установки необходимого потенциала вольтметр 5 отключают и фиксируют время начала испытаний.

Для испытаний на пластинах или картах (сегментах) по ГОСТ Р 51164-98, в зависимости от типа используемого электрода, собирают одну из двух электрических схем, представленных на рисунке 4.

Исходя из требований ГОСТ Р 51164-98 (п. В.6), за значение площади отслаивания покрытия при катодной поляризации принимают среднее арифметическое значение результатов измерений на трех образцах, поэтому целесообразнее собирать электрическую схему с тремя испытуемыми образцами, так, как представлено на рисунках 5 или 6. По NF A 49-711 для испытания собирают схему, представленную на рисунке 7. За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение результатов измерений на шести образцах.

В данном стандарте используется охлаждающий змеевик для понижения температуры электролита до $(30 \pm 5)^\circ\text{C}$, но в испытаниях при температуре $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ по NF A 49-711 (п. 9.13.3) его применение нецелесообразно.

Электрические схемы для проведения испытания в стандартах CAN/CSA Z245.20-10 и CAN/CSA Z245.21-10 не представлены, но дано описание процедур по подготовке и проведению испытания, которые схожи с представленными в стандартах ГОСТ 9.602-2005, ГОСТ Р 51164-98 и NF A 49-711.

Стоит отметить, что испытания по CAN/CSA Z245.20-10 и CAN/CSA Z245.21-10 проводятся только на одном образце с наружным покрытием.

В рассматриваемых НТД требования к продолжительности и температуре проведения испытаний, значению выставленного потенциала на образцах различны. Сопоставлять данные различных экспериментов возможно только при условии идентичности их проведения.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

После испытаний по ГОСТ 9.602-2005 (п. Л.4.3.), ГОСТ Р 51164-98 (п. В.5.4) и NF A 49-711 (п. К.5.2.) площадь отслоившегося участка покрытия оголяют, осторожно поддевая и срезают покрытие скальпелем. Площадь отслоившегося участка переводят на кальку, а затем на плотную бумагу с известной массой единицы площади и вычисляют методом взвешивания. Стоит отметить, что при переводе и последующей вырезке площади отслоившегося участка на кальку, с кальки на бумагу, а также вырезке круга, равного по площади первоначально нанесенному дефекту в покрытии, легко допустить неточность, которая приведет к получению недостоверных результатов испытаний.

Площадь отслаивания вычисляют по формуле:

$$S = m/m', \quad (2)$$

где m – масса бумаги площадью, равной площади отслаивания, г;
 m' – масса 1 см^2 бумаги, г/см².

За величину площади отслаивания покрытия при катодной поляризации принимают среднее арифметическое значение результатов измерений на трех образцах по ГОСТ 9.602-2005 (п. В.6), вычисляемое с точностью до $0,5\text{ см}^2$, и шести образцах испытуемого покрытия по NF A 49-711 (п. 9.13.3.).

По CAN/CSA Z245.20-10 (п. 12.8.3.2 (j)) и CAN/CSA Z245.21-10 (п. 12.3.3 (j)) специальным ножом наносят радиальные разрезы через покрытие до подложки и кончиком лезвия ножа поддевают от-

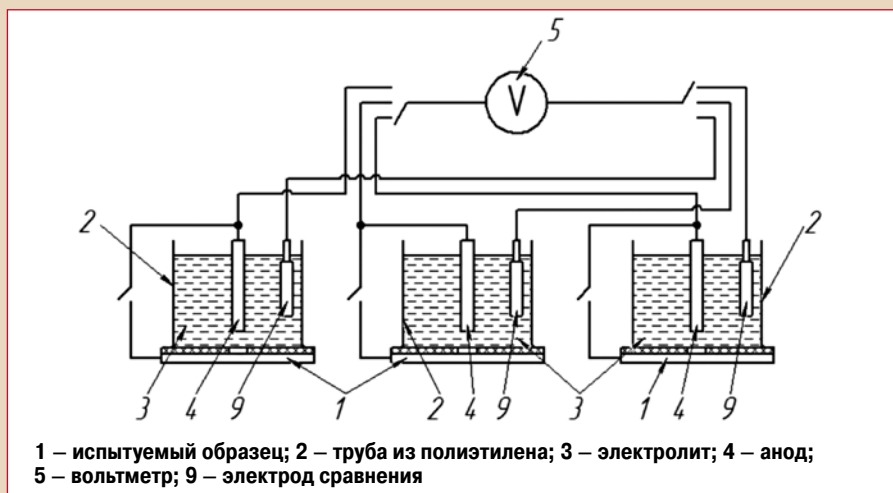


Рис. 5. Электрическая схема для испытаний трех образцов в виде пластины или карты (сегмента), с использованием магниевого анода

слоившиеся участки до тех пор, пока покрытие не будет проявлять определенное сопротивление. Измеряется расстояние нарушения связанности от края, первоначально нанесенного дефекта в покрытии вдоль каждого радиального разреза и рассчитывается среднее арифметическое измеренных значений.

По данным стандартам вычисляется не площадь отслаивания покрытия, а среднее арифметическое значение длины нарушения связанности покрытия с металлической подложкой. Построение многогранника по радиальным разрезам или окружности, с вычисленным значением радиуса, и расчет условной площади отслаивания в принципе возможны. На рисунке 8 представлены примеры радиальных разрезов покрытия, построение многогранника и окружности для определения условной площади отслаивания.

Специалистами лаборатории покрытий ОАО «РосНИТИ» разработан метод определения площади отслаивания при катодной поляризации, позволяющий отказаться от трудоемких операций,

исключить влияние человеческого фактора и получить более достоверные данные эксперимента.

В основе метода лежат получение растрового изображения высокой четкости образца с отслоенным покрытием и последующая обработка изображения на персональном компьютере с использованием графического редактора. В растровой графике цифровые изображения состоят из пикселей – наименьших логических элементов изображения. Для определения количества пикселей полученного изображения в 1 см^2 образца на образец перед фотосъемкой накладывается эталонный трафарет в виде сетки с размером ячейки $0,5 \times 0,5\text{ мм}$ или $1 \times 1\text{ мм}$. Построив в графическом редакторе на отснятом изображении в области трафарета элемент в виде квадрата с площадью 1 см^2 цветом, отличающимся от основных цветов изображения (розовый или ярко-зеленый), применив инструмент для выделения области с одинаковым оттенком цвета, автоматически производят подсчет выделенных пикселей и устанавливают необходимое соот-

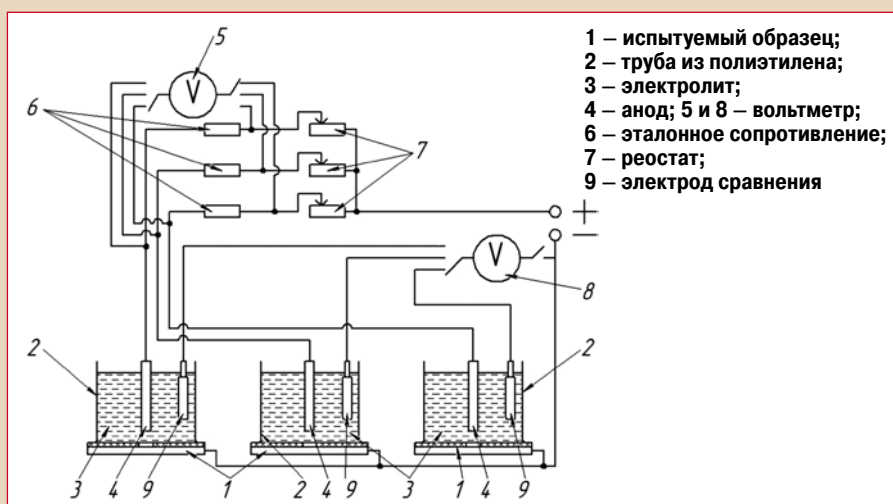


Рис. 6. Электрическая схема для испытаний трех образцов в виде пластины или карты (сегмента), с использованием инертного анода

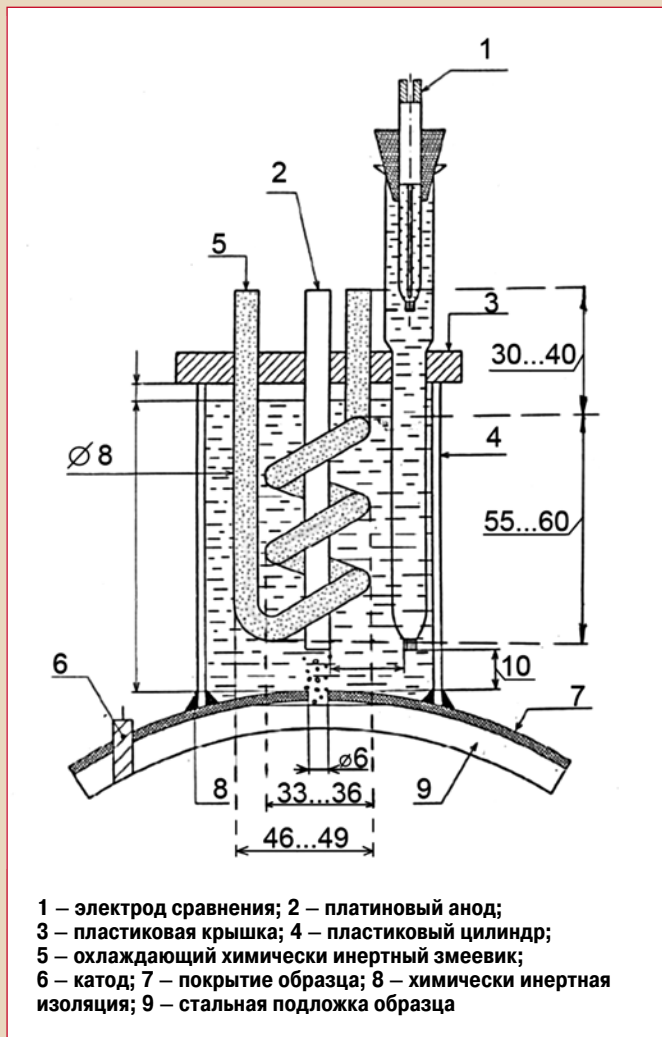


Рис. 7. Схема электролитической ячейки для испытания образцов покрытия в виде карты (сегмента) с наружным покрытием по NF A 49-711

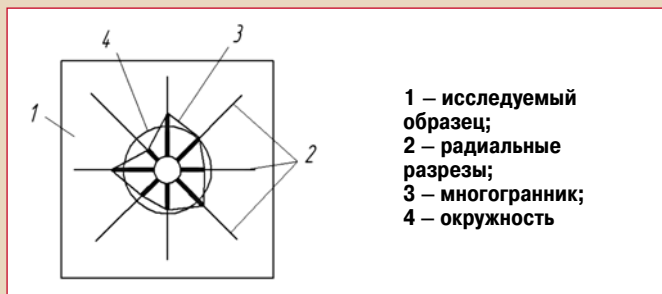


Рис. 8. Примеры радиальных разрезов покрытия

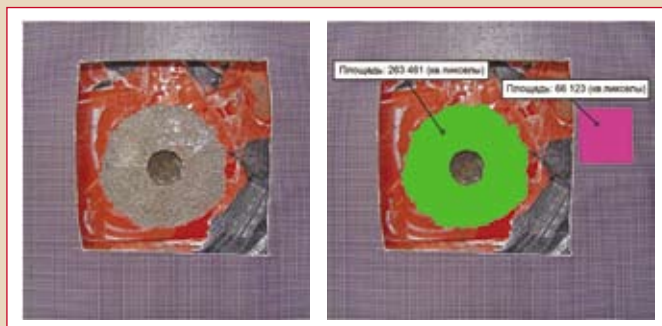


Рис. 9. Пример определения площади отслаивания покрытия при катодной поляризации методом, разработанным специалистами ОАО «РосНИТИ»

ношение. После этого на изображении образца область отслаивания также закрашивается цветом, отличающимся от основных цветов изображения. Применяв инструмент для выделения области с одинаковым оттенком цвета, автоматически производят подсчет выделенных пикселей и определяют площадь отслаивания, рассчитанную в пикселях. Используя полученное ранее соотношение, определяют площадь отслаивания в см^2 . Пример такого способа определения площади отслаивания при катодной поляризации приведен на рисунке 9.

Как видно из рисунка 9, в 1 см^2 содержится 66 123 пикселей, площадь окрашенного участка отслоившегося покрытия составляет 263 461 пиксель. Площадь отслаивания определяем по формуле (3):

$$S_{\text{отс}} = S_{\text{окр}} / S_{\text{см}}^2, \quad (3)$$

где $S_{\text{окр}}$ – площадь окрашенного участка отслоившегося покрытия, кв. пиксели;

$S_{\text{см}}^2$ – площадь окрашенного участка на трафарете 1 см^2 , кв. пиксели.

Подставив значения в формулу (3), получаем:

$$S_{\text{отс}} = \frac{263461 \text{ пикселей}}{66123 \frac{\text{пикселей}}{\text{см}^2}} = 3,98 \text{ см}^2$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного анализа методов определения площади отслаивания защитного покрытия при катодной поляризации, приведенных в стандартах: ГОСТ Р 51164-98; ГОСТ 9.602-2005; CAN/CSA Z245.20-10; CAN/CSA Z245.21-10; NF A 49-711, показаны отличительные особенности в подготовке к проведению испытания и в методах оценки площади отслаивания и невозможность корректно сравнивать результаты испытаний.

Представленные электрические схемы, с параллельным подключением исследуемых образцов с покрытием, позволяют установить одинаковые значения потенциала на каждом образце, что способствует получению более достоверных данных эксперимента.

Разработанный метод расчета площади отслаивания защитного покрытия при катодной поляризации позволяет исключить трудоемкие операции, снизить влияние человеческого фактора и повысить точность эксперимента.

Литература:

1. ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии. – Введ. 23.04.1998. М.: Госстандарт России, 1998. – 46 с.
2. ГОСТ 9.602-2005. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. – Введ. 25.10.2005. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2005. – 59 с.
3. CAN/CSA Z245.20-10. Plant-applied external fusion bond epoxy coating for steel pipe. – Введ. 01.06.2010. – Mississauga: CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 2010.
4. CAN/CSA Z245.21-10. Plant-applied external polyethylene coating for steel pipe. – Введ. 01.06.2010. – Mississauga: CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 2010.
5. NF A 49-711. Steel pipes. Three-layer external coating based on polypropylene by extrusion.

Ключевые слова: катодное отслаивание, площадь отслаивания, защитное покрытие, катодная поляризация.