

УДК 620.197.5

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА В РЕЗЕРВУАРЕ С ПРОТЕКТОРОМ

С.Б. Коныгин, Д.В. Коноваленко, Н.Г. Кац

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассматриваются вопросы защиты резервуаров от электрохимической коррозии с помощью протекторов. Создана экспериментальная установка, с помощью которой исследовано распределение электрического потенциала в лабораторном резервуаре с протектором. Установлено, что по мере удаления от протектора величина потенциала снижается и начиная с определенного расстояния становится практически постоянной. Для теоретического описания предложена эквивалентная электрическая схема, состоящая из источника напряжения и системы делителей напряжения. Предложены формулы для оценки параметров элементов эквивалентной схемы. Путем расчета эквивалентной схемы построено теоретическое распределение потенциала в резервуаре. Произведено сравнение результатов экспериментов и теоретических расчетов, сделан вывод об адекватности модели.

Ключевые слова: электрохимическая коррозия, протекторная защита, электрический потенциал, резервуар.

Протекторная защита широко используется для снижения скорости электрохимических коррозионных процессов, протекающих в нефтегазовом оборудовании [1-3]. Одной из проблем, возникающих при проектировании протекторов, является сложность определения радиуса их защитного действия [4, 5].

Настоящая работа посвящена исследованию распределения электрического потенциала, возникающего вокруг протектора.

На рис. 1 представлена экспериментальная установка, позволяющая измерять значение электрического потенциала в экспериментальном стальном резервуаре 1, заполненном водным раствором электролита, в зависимости от расстояния от магниевого протектора 2. Для исключения влияния стенок на распределение потенциала они выполнены из оргстекла. Измерения проводились с помощью электрохимического ключа 4, второй конец которого вместе с хлорсеребряным электродом сравнения был погружен в насыщенный водный раствор КСl. Значение потенциала регистрировалось потенциометром 6. В качестве электролита был выбран водный раствор NaCl.

В результате экспериментов было получено распределение потенциала по радиусу резервуара, представленное на рис. 3 в виде точек. Из рассмотрения графика видно, что потенциал быстро падает при отдалении от протектора и на расстоянии более 15 см остается практически постоянным. При этом по мере

Сергей Борисович Коныгин (д.т.н.), заведующий кафедрой «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».

Денис Владимирович Коноваленко, ассистент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».

Николай Григорьевич Кац (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».

приближения к протектору (там, где значения потенциала выше) концентрация продуктов коррозии резко снижается.

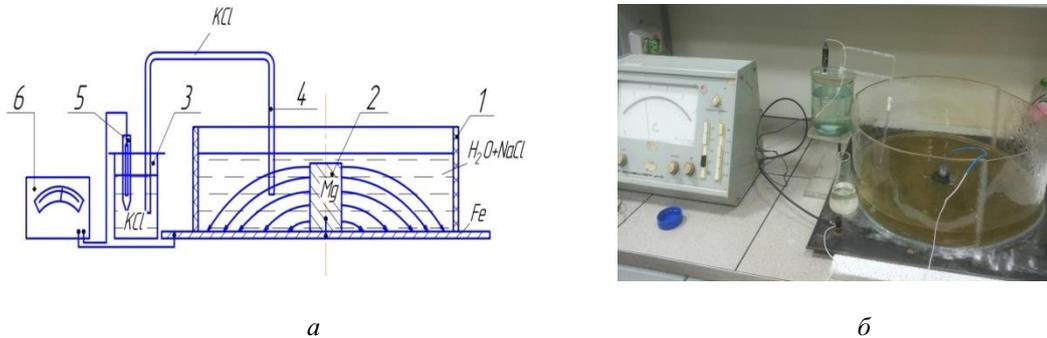


Рис. 1. Схема (а) и фотография (б) экспериментальной установки для исследования распределения потенциала в резервуаре с протектором

С целью упрощения задачи было принято, что значение потенциала постоянно по высоте и по длине окружности и зависит только от расстояния r до выбранной точки протектора. В этом случае распределение потенциала может быть описано с помощью эквивалентной электрической схемы (рис. 2), состоящей из источника напряжения и набора делителей напряжения. Каждый делитель моделирует падение потенциала на определенном интервале изменения радиуса.

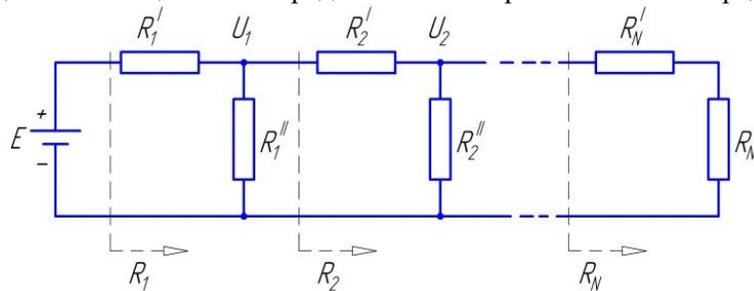


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема

Для построения параметров эквивалентной схемы был использован следующий подход. Объем раствора вокруг протектора разбивался на N кольцевых зон, каждая из которых имеет средний радиус r_i и ширину Δr . Раствор, находящийся в каждой зоне, рассматривается как проводник, в котором протекают две составляющие ионного тока: радиальная, текущая от протектора к периферии, и вертикальная, текущая ко дну резервуара. По мере удаления зоны от протектора радиальная составляющая в ней уменьшается за счет вертикального тока ионов к металлу дна резервуара.

Считая, что к каждой зоне может быть применена формула для сопротивления проводника с удельным сопротивлением ρ , длиной l и поперечным сечением S ,

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1)$$

радиальные и вертикальные сопротивления зон оценим по формулам

$$R'_i = \alpha' \rho \frac{\Delta r}{2\pi r_i h}, \quad (2)$$

$$R''_i = \alpha'' \rho \frac{h}{2\pi r_i \Delta r}, \quad (3)$$

где h – глубина жидкости; α' , α'' – эмпирические коэффициенты.

В этом случае общие сопротивления звеньев эквивалентной схемы начиная с i -го могут быть определены по формулам

$$R_i = R'_i + \frac{R''_i R_{i+1}}{R''_i + R_{i+1}}, \quad (i \neq N); \quad (4)$$

$$R_N = R'_N + R''_N. \quad (5)$$

Также считается, что значение напряжения источника связано с разностью электрохимических напряжений металлов резервуара φ_m и протектора φ_n

$$E = \beta(\varphi_n - \varphi_m), \quad (6)$$

где β – эмпирический коэффициент.

С учетом вышеизложенного значения потенциала могут быть определены по формуле (где $U_0 = E$)

$$U_i = U_{i-1} \left(1 - \frac{R'_i}{R_i} \right). \quad (7)$$

Теоретическое распределение потенциала, полученное с помощью формулы (7) для лабораторного резервуара, приведено на рис. 3 в виде сплошной линии.

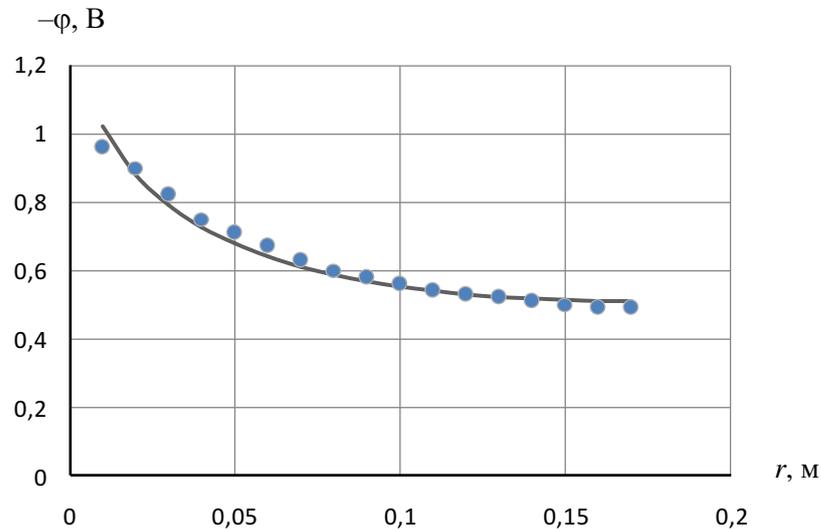


Рис. 3. Зависимость потенциала от расстояния от протектора: сплошная линия – уравнение (7), точки – экспериментальные данные

Из сопоставления теоретических и экспериментальных данных, приведенных на рис. 3, можно сделать вывод о том, что предложенная модель адекватно описывает распределение потенциала в резервуаре с протектором. Указанное согласование достигается при значениях $\alpha''/\alpha' = 21,4$ и $\beta = 0,32$. Дальнейшим

развитием работы является исследование взаимосвязи между локальными значениями потенциала и скоростями коррозии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. – М.: Metallurgia, 1976. – 472 с.
2. Семенова И.В., Флориандрович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии. – М.: Физматлит, 1989. – 336 с.
3. Кац Н.Г., Стариков В.П., Парфенова С.Н. Химическое сопротивление материалов и защита оборудования нефтегазопереработки от коррозии. – М.: Машиностроение, 2011. – 436 с.
4. Пахомов В.С., Шевченко А.А. Химическое сопротивление материалов и защита от коррозии. – М.: Химия, КолосС, 2009. – 444 с.
5. Зиневич А.М., Глазков В.И., Котик В.Г. Защита трубопроводов и резервуаров от коррозии. – М.: Недра, 1975. – 288 с.

Статья поступила в редакцию 16 января 2015 г.

MODEL OF POTENTIAL DISTRIBUTION IN RESERVOIR WITH PROTECTOR

S.B. Konygin, D.V. Konovalenko, N.G. Kats

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

The paper deals with the issues of reservoir cathodic protection. Electrical potential distribution in an experimental reservoir is investigated. It is established that electrical potential value decreases as the distance from the protector increases, and it keeps constant starting from a certain radius length. The equivalent circuit consisting of a voltage source and dividers is offered for theoretical description. Formulas for circuit components calculation are offered. Using the equivalent circuit, the theoretical potential distribution in the reservoir is determined. The comparison of the theoretical distribution with the experimental results confirms the model adequacy.

Keywords: galvanic corrosion, cathodic protection, electrical potential, reservoir.

Sergey B. Konygin (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.

Denis V. Konovalenko, Assistant.

Nickolay G. Kats (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.