

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА В РЕАКТОРАХ

Шалимов Ю.Н.*, Островская Е.Н.⁽¹⁾, Литвинов Ю.В.⁽¹⁾

Воронежский государственный технический университет, Московский пр-т, 14, г. Воронеж,
394026 Россия

⁽¹⁾ФГУП НКТЬ «Феррит», Московский пр-т, 179/4, г. Воронеж, 394066 Россия

Введение

При изучении тепловых потерь в электрохимических реакторах газа обычно исходят из условия, что основным источником тепловых потерь является джоулево тепло, рассеиваемое в межэлектродном пространстве. Детальное изучение процессов тепломассопереноса в электрохимических преобразователях показало, что эффекты тепловыделения оказывают основное влияние на картину распределения тепловых полей в объеме реактора.

Результаты и обсуждение

При рассмотрении электрохимической ячейки, содержащей параллельные ряды одинаковых электродов, расположенных по узлам прямоугольной сетки, можно ввести упрощения в связи с симметрией системы. В этом случае достаточно рассмотреть один ряд электродов. Для электрода с большим соотношением l/d распределение тока по длине практически однородно, за исключением небольшой области краевых эффектов на конце электрода.

Схематическое распределение электродов в ячейке показано на рис. 1.

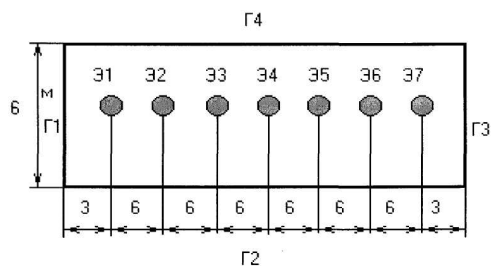


Рис. 1. Геометрия расчетной области для системы цилиндрических электродов: Э – электрод, М – мембрана, Г_к – границы области

Первичное распределение плотности тока показано на рис. 2. Как видно, в этой задаче первый электрод почти полностью экранирует всю систему.

Вторичное распределение, полученное в результате итерационного решения поставленной задачи, приведено на рис. 3. Здесь степень экранировки первым электродом остальных значительно ниже, но практически работающими все равно оказываются только два передних

электрода. Распределение потенциала электролита у электрода и определяемой им плотности тока по периметру электрода имеют косину-соидальный характер.

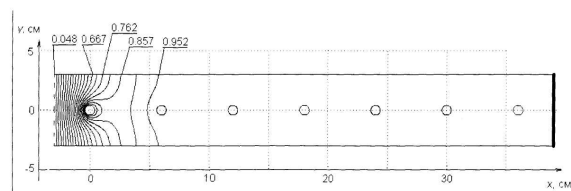


Рис. 2. Первичное распределение безразмерного потенциала в ячейке с цилиндрическими электродами

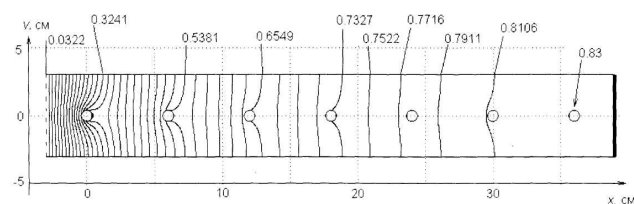


Рис. 3. Вторичное распределение безразмерного потенциала в ячейке с цилиндрическими электродами

Выявленная неоднородность нагруженности электродов хорошо согласуется с экспериментальными данными и обусловлена использованием схемы с одинаковым потенциалом на всех электродах. При этом наиболее сильно нагруженными оказываются центральные электроды ячейки, находящиеся в условиях наихудшей теплоотдачи. Это иллюстрируется также распределением джоулевых источников теплоты (рис. 4), плотность которых различается по длине расчетной области более чем на три порядка.

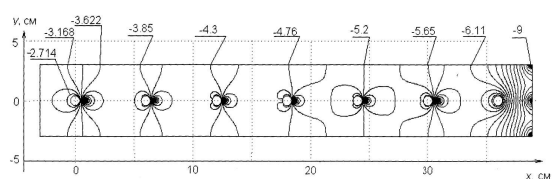


Рис. 4. Распределение десятичного логарифма объемной плотности джоулевых источников теплоты

С целью оптимизации теплового режима целесообразно осуществить перераспределение нагруженности электродов по току за счет установления на них различных, специально подобранных потенциалов.

В результате оптимизации необходимо добиться приблизительно линейного изменения градиента потенциала. Для ее проведения достаточно задать распределение требуемых плотностей тока на электродах и по выражению

$$u_k = \sum_{m=1}^n L_{km} \frac{\partial u}{\partial n} \Big|_m \quad (1)$$

с использованием матрицы получить потенциалы u_k , а по граничному условию

$$u = 1 - \frac{1}{\beta} \cdot \text{Arsh} \left(\frac{\lambda}{(1-\theta')} \cdot \frac{\partial u}{\partial n} \right) - \frac{\alpha(\theta)}{\sqrt{\rho}} \cdot \frac{\partial u}{\partial n} \quad (2)$$

– потенциалы v_k на электродах.

Здесь n – число электродов в системе, а симметричная матрица L_{km} , имеющая размерность длины, определяется только геометрией системы; β – параметр «жесткости» поверхностного перенапряжения; λ – характеристическая длина изменения плотности тока у поверхности электрода; α – безразмерный геометрический коэффициент, определяемый относительной долей θ проницаемой части поверхности мембраны; ρ – поверхностная плотность пузырей газа.

Найденное по (1) и матрице распределение потенциалов электролита составляет:

$$(u_k) = (0,409; 1,021; 1,531; 1,939; 2,245; 2,45; 2,251). \quad (3)$$

Затем граничное условие (2) определяет потенциалы электродов:

$$(v_k) = (0,892; 1,504; 2,014; 2,422; 2,728; 2,932; 3,034). \quad (4)$$

Проверка правильности полученных значений и необходимая корректировка теперь может быть осуществлена в рамках расчета полевой модели. При этом в граничном условии (2) на электродах вместо значения безразмерного потенциала электрода 1 следует подставлять полученные числовые значения v_k каждого электрода из выражения (4).

Рассчитанное с потенциалами (4) распределение поля потенциалов показано на рис. 5, а распределение плотности джоулевых источников теплоты – на рис. 6. Полученное в модели значение $j_0 = 0,1169$, а значения j_k составляют:

$$(j_k) = (0,0409; 0,0402; 0,0395; 0,0397; 0,0395; 0,0395; 0,0395). \quad (5)$$

Таким образом, точное распределение j_k практически совпадает с заданным в упрощенной модели, так же, как и входная плотность тока j_0 . Это подтверждает достоверность и эф-

фективность упрощенной модели оптимизации. В результате оптимизации также достигается значительно более равномерное распределение джоулевых источников теплоты (рис. 6). Рассчитанная неоднородность плотности тока на электродах составляет на первом электроде: $j_{\min} = 0,024$, $j_{\max} = 0,062$, а на седьмом соответственно: $j_{\min} = 0,038$, $j_{\max} = 0,041$, при этом эффективно работающими являются все электроды ячейки, причем по полной поверхности.

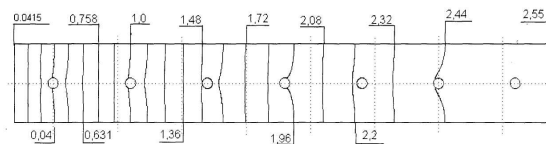


Рис. 5. Вторичное распределение безразмерного потенциала в оптимизированной ячейке

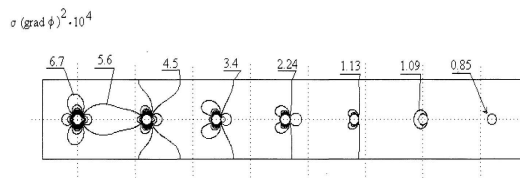


Рис. 6. Распределение плотности джоулевых источников теплоты в оптимизированной ячейке

Предлагаемая модель позволяет уточнить результаты локализации тепловых источников в реакторе и на основании реального распределения определить направление тепловых потоков при заданной конструкции коммутации электродов, работа которых будет осуществляться в оптимальном режиме тепломассообмена.

Полученные расчетные данные позволили сконструировать установку газогенерации, эксплуатационные характеристики которых удовлетворяют требованиям, предъявляемым к устройствам такого типа. При непрерывном режиме работы и номинальных параметрах реактора газа система стабильна и позволяет генерировать газы без перехода в режим термокинетической неустойчивости (ТКН). Универсальность разработанной модели с использованием безразмерных параметров дает основания для ее применения к другим подобным системам при проектировании.

Таким образом, определение локальных источников энергии в системах газогенерации позволило осуществить оптимальный выбор электродной системы в реакторах получения водорода и кислорода, используемых в различных технологических процессах.