

Оценка влияния параметров катодной структуры электролизера на проводимость электролита

В. Л. Беляев, А. А. Шалагинов

Национальный минерально-сырьевой университет "Горный",
Санкт-Петербург, РФ, e-mail: rimsinc@mail.ru

Исследовано влияние геометрических параметров катодной структуры электролизера на проводимость электролита. Получены аналитические выражения, позволяющие определить проводимость электролита.

Ключевые слова: ток, проводимость, сопротивление, электрод, потенциал, анизотропия, электролизер, катод, лист, электролит.

Исследована зависимость сопротивления электролита от параметров перфорированного листа $\alpha = r/D$; $\alpha = h/r$; $\beta = a/D$, где r — радиус отверстия; D — расстояние между центрами соседних отверстий; h — толщина листа; a — половина расстояния между анодом и катодом [1].

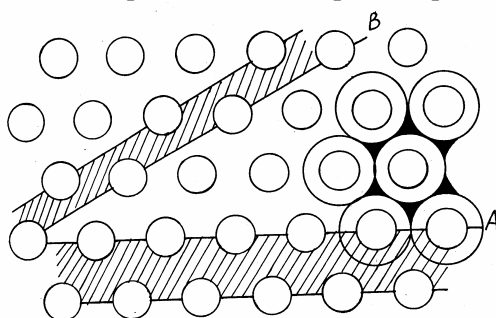
Для оценки влияния указанных параметров рассмотрим поле вдали краев листа с тем, чтобы можно было не считаться с краевым эффектом. Разобьем все пространство, занятое электролитом, на элементарные осесимметричные области. Ограничимся рассмотрением круговых цилиндров радиусом $r_1 = 0,5D$, тем самым пренебрегая влиянием незначительного поля в небольших участках пространства, расположенного между указанными цилиндрами. Эти участки зачернены на рисунке.

Ввиду отсутствия краевого эффекта будем считать, что поле в каждом из указанных цилиндров осесимметрично и распределено одинаковым образом. Обратимся к цилиндрической системе координат ρ , φ , z , приняв $z = 0$ на середине между анодом и катодом и $z = a$ на поверхности листа; $\rho = 0$ на оси симметрии цилиндров.

Потенциал V поля внутри цилиндров удовлетворяет осесимметричному уравнению Лапласа в цилиндрической системе координат

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial V}{\partial \rho} \right) + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0. \quad (1)$$

В литературе неизвестно точное аналитическое решение приведенного уравнения применительно к рассматриваемой конструкции.



Численное решение громоздко, требует значительной памяти ЭВМ, занимает много машинного времени и не позволяет оценить влия-

Область исследования проводимости перфорированного катодного листа с помощью проводящей бумаги.

ние тех или иных параметров на величину проводимости электролита. Поэтому признано целесообразным обратиться к методике расчета сложных электрических полей [2, 3]. Использование данной методики позволило получить приближенное значение проводимости электролита

$$G_0 = \gamma(G_1 + G_2), \quad (2)$$

где γ — удельная проводимость электролита;

$$\begin{aligned} G_1 &= \pi^2 D / (4t); & t &= \ln(B + \sqrt{B^2 + 1}); \\ B &= sh \pi \beta / (\sin \pi \lambda); & \beta &= a/D; \\ \lambda &= d/D; & d &= 0,5D - r; \\ G_2 &= \frac{0,532 \pi h r^2 \sqrt{1-m}}{q^2 p^2}; & q &= a + 0,5h \\ P &= 1 + 0,5q^2 (\ln(4/g) - 0,5); & g &= r/q; \\ m &= \exp(-2a) + 0,042 \sin(1,5\pi\alpha), \text{ если } \alpha \leq 1 \\ m &= 16 \exp(-\pi\alpha - 2), \text{ если } \alpha \geq 1; \alpha = h/r. \end{aligned}$$

В приведенных уравнениях не учитывалась проводимость зачерненных на рисунке областей катода. Площадь указанных областей составляет 9,3% от всей площади зеркала катодного листа, которая включает отверстия. Приближенный учет указанных областей может быть проведен, если в приведенные выше формулы вместо D подставить D' , где $D' = 1,05D$.

Для вычисления проводимости G целого листа площадью S следует воспользоваться формулой

$$G = G_0 n, \quad (3)$$

где G_0 — проводимость отдельной области, определенной по соотношению (2), в котором вместо D фигурирует D' :

$$n = S/S_0; \quad S_0 = \pi D'^2/4. \quad (4)$$

Далее приводится пример расчета по указанным соотношениям.

Пример. Задано: толщина листа $h = 1,5$ мм; радиус отверстий $r = 1$ мм; расстояние между центрами отверстий $D = 4$ мм, расстояние между анодом и катодом $2a = 6$ мм. Площадь зеркала листа $S = 0,5$ м². Удельная проводимость электролита $\gamma = 1$ см/м. Требуется определить проводимость электролита в области, ограниченной поверхностью катода и плоскостью, расположенной посередине между анодом и катодом.

Решение.

- Прежде всего необходимо все параметры выразить в СИ:

$$\begin{aligned} h &= 0,0015 \text{ м}; \quad r = 0,001 \text{ м}; \quad D = 0,004 \text{ м}; \quad a = 0,003 \text{ м}; \\ S &= 0,5 \text{ м}^2; \quad \gamma = 1 \text{ см/м}. \end{aligned}$$

- Определить вспомогательные параметры, необходимые для расчета: эффективное значение расстояния между центрами отверстий:

$$\begin{aligned} D' &= 1,05D = 0,004 \cdot 1,05 = 0,0042 \text{ м}; \\ d &= 0,5 D' - r = 0,5 \cdot 0,0042 - 0,0011 \text{ м}; \\ \lambda &= d/D' = 0,0011/0,0042 = 0,2619; \\ \beta &= a/D' = 0,003/0,0042 = 0,7143; \end{aligned}$$

$$B = sh \pi \beta / (\sin \pi \lambda) = sh(\pi \cdot 0,7143) / \sin(\pi \cdot 0,2619) = 4,66/0,733 = 6,36.$$

$$t = \ln(B + \sqrt{B^2 + 1}) = \ln(\sqrt{6,36^2 + 1} + 6,36) = 2,549.$$

Определить G_1 :

$$G_1 = \frac{\pi^2 D'}{4t} = \frac{\pi^2 \cdot 0,0042}{4 \cdot 2,549} = 0,0040655.$$

4. Определить вспомогательные параметры, необходимые для расчета G_2 :

$$\alpha = h/r = 0,0015/0,001 = 1,5.$$

Поскольку $\alpha = 1,5 > 1$, то

$$m = 16 \exp(-\pi\alpha - 2) = 16 \exp(-\pi \cdot 1,5 - 2) = 0,01945.$$

$$q = a + 0,5h = 0,003 + 0,5 \cdot 0,0015 = 0,00375 \text{ м.}$$

$$g = r/q = 0,001/0,00375 = 0,26666.$$

$$p = 1 + 0,5g^2(\ln(4/g) - 0,5) = 1 + 0,5 \cdot 0,26666^2(\ln(4/0,26666) - 0,5) = 1,0785.$$

5. Определить G_2 :

$$G_2 = \frac{0,532\pi r^2 \sqrt{1-m}}{q^2 p^2} = \frac{0,532\pi \cdot 0,0015 \cdot 0,001^2 \sqrt{1-0,01945}}{0,00375^2 \cdot 1,0785^2} = 0,0001634.$$

6. Определить проводимость электролита в элементарной области:

$$G_0 = \gamma(G_1 + G_2) = 1(0,0040655 + 0,0001634) = 0,004229 \text{ см.}$$

7. Площадь поверхности листа, приходящейся на элементарную область:

$$S_0 = \frac{\pi D'^2}{4} = \pi \cdot 0,0042^2 / 4 = 1,385 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

8. Число отверстий, то есть число элементарных областей на листе площадью $S = 0,5 \text{ м}^2$:

$$n = \frac{S}{S_0} = \frac{0,5}{1,385 \cdot 10^{-5}} = 36\,090.$$

9. Проводимость электролита при площади поверхности листа $0,5 \text{ м}^2$:

$$G = G_0 n = 0,004229 \cdot 36\,090 = 162,6 \text{ см.}$$

10. Проводимость электролита при отсутствии отверстий (сплошной лист) для элементарной ячейки:

$$G_0^0 = \gamma(\pi D'^2 / (4a)) = 1 \cdot \pi \cdot 0,0042^2 / (4 \cdot 0,003) = 0,004618 \text{ см.}$$

11. Проводимость электролита при площади поверхности листа $0,5 \text{ м}^2$ и отсутствии отверстий

$$G^0 = G_0^0 n = 0,004618 \cdot 36\,090 = 166,7 \text{ см.}$$

12. Отношение проводимости электролита при перфорированном листе к проводимости электролита при сплошном листе:

$$G/G^0 = G_0/G_0^0 = 162,6/166,7 = 0,916.$$

Таким образом, за счет появления отверстий проводимость электролита в области, обращенной к катоду, уменьшилась только на 9,2%. Проводимость области, обращенной к аноду, зависит от структуры последнего. Если она идентична структуре катода, то общая проводимость электролита $G_{\text{АК}}$ окажется равной $G_{\text{АК}} = 0,5G$. Для данного примера это составит $G_{\text{АК}} = 0,5 \cdot 162,6 = 76,3 \text{ см.}$

Следовательно, отверстия слабо влияют на величину общей проводимости и поле посередине между анодом и катодом можно считать однородным. Однако, если диаметры отверстий окажутся больше расстояния между анодом и катодом, поле посередине между анодом и катодом уже нельзя считать однородным. Тогда влияние отверстий на проводимость электролита заметно увеличится и наибольшим оно будет при исчезающе малом значении отношения расстояния между анодом и катодом к диаметру отверстий ($\alpha \ll r$). В этом случае отношение проводимости электролита при наличии отверстий G к соответствующей проводимости при их отсутствии G^0 окажется равным отношению соответствующих площадей S_0 и S_0^0 , а именно

$$\frac{G}{G^0} = \frac{S_0^0}{S_0} = \frac{\pi(0,25D'^2 - r^2)}{\pi \cdot 0,25D^2} = \frac{D'^2 - (2r)^2}{D'^2}.$$

Для данного примера это составит

$$\frac{G}{G^0} = \frac{0,0042^2 - 2 \cdot 0,001^2}{0,0042^2} = 0,773.$$

Таким образом, проведенный расчет и его анализ позволяют сделать следующие выводы:

анизотропия поверхностной проводимости при перфорировании катодного листа отверстиями отсутствует;

удельная поверхностная проводимость перфорированного катодного листа определяется отношением α радиуса r отверстий к расстоянию D между их центрами. Она прямо пропорциональна толщине h и удельной проводимости γ_{00} материала катода;

при заданном значении h и α одинаковое изменение радиуса r отверстий и расстояния D между их центрами не влечет за собою изменение удельной поверхностной проводимости катодного листа;

удельная поверхностная проводимость γ имеет наибольшее значение при $\alpha = 0$ (сплошной лист $\gamma = \gamma_0$). По мере увеличения α она уменьшается и при $\alpha = 0,5$ $\gamma = 0$;

величина удельной поверхностной проводимости перфорированного катодного листа определяется с помощью кривой, приведенной на рис. 6 в работе [4], если известны удельная проводимость γ_{00} материала катода, толщина h и отношение $\alpha = r/D$;

проводимость электролита зависит от радиуса r отверстий, расстояния D между их центрами, расстояния $2a$ между анодом и катодом, толщины h катодного листа, общей площади S поверхности катода и от удельной проводимости γ электролита;

при постоянном расстоянии $2a$ между анодом и катодом одновременное увеличение r и D в одинаковое количество раз приводит к уменьшению проводимости электролита;

увеличение толщины листа вызывает повышение проводимости электролита, однако указанное влияние значительно только для нереальных конструкций $\alpha \approx 0,5$. В противном случае, указанное увеличение проводимости электролита не превышает 10%;

увеличение отношения $\alpha = r/D$ при заданном расстоянии между катодом и анодом $2a$ приводит к уменьшению проводимости электролита;

проводимость электролита определяется по заданным значениям удельной проводимости γ и параметров r , D , h и a .

1. Банников В. В. Влияние параметров электродов на поперечную проводимость / [В. В. Банников, М. А. Рамбов, А. М. Сегаль, А. А. Шалагинов]. — Харьков : ВНИИЭлектроаппарат, 1990. — 84 с.
2. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. — М. : Энергоиздат, 1992. — 288 с.
3. Буткевич Г. В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей. — М. : Энергия, 1973. — 263 с.
4. Беляев В. Л. Исследование поперечной проводимости катодного листа диафрагменного электролизера / В. Л. Беляев, А. А. Шалагинов // Электрические контакты и электроды. — К. : Ин-т пробл. материаловедения НАН Украины, 2014. — С. 203—210.

Оцінка впливу геометричних параметрів катодної структури електролізера на провідність електроліту

В. Л. Беляєв, А. А. Шалагінов

Досліджено вплив геометричних параметрів катодної структури електролізера на провідність електроліту. Отримано аналітичні вирази, що дозволяють визначити провідність електроліту.

Ключові слова: струм, провідність, опір, електрод, потенціал, анізотропія, електролізер, катод, лист, електроліт.

Estimation of influence of geometrical parameters cathode structure of electrolyzer on the electrolyte conductivity

V. L. Beljaev, A. A. Shalaginov

The influence of geometry parameters of electrolyzer cathode structure on electrolyte conductivity was investigation. The analytical equation, allowing to detriment of the electrolyte conductivity were received.

Keywords: current, conductivity, electrode, potential, anisotropy, electrolyzer, cathode, sheet, electrolyte.