

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОЧИСТКА ХРОМСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД В ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯТОРЕ ПРОТОЧНОГО ТИПА

*Мельник Е.С., аспирант; Пляцук Л.Д., профессор*

В целом процесс электрокоагуляции можно описать следующими реакциями:

1.  $Fe^{2+} + OH \leftrightarrow FeOH^+ + e$
2.  $FeOH^+ + OH \leftrightarrow Fe(OH)_2$
3.  $Cr_2O_7^{2-} + 3Fe(OH)_2 + 4H_2O \rightarrow 3Fe(OH)_3 \downarrow + 2Cr(OH)_3 \downarrow + 2OH$

Таким образом видно, что в результате процессов, протекающих в электролизере. Ионы гидроксила, выделяющиеся на катоде могут связываться в электролите ионами хрома и железа с образованием соответствующих нерастворимых осадков. Следовательно изменение концентрации ионов железа, хрома и гидроксила в электролите может быть описано системой дифференциальных уравнений.

$$\frac{dCOH^+}{dt} = \alpha_1 \cdot I - \alpha_2 \cdot COH \cdot CCr^{3+} - \alpha_3 \cdot COH \cdot CFe^{2+} \quad (1)$$

$$\frac{dCFe^{2+}}{dt} = \alpha_4 \cdot I - \alpha_3 \cdot CFe^{2+} \cdot COH^- \quad (2)$$

$$\frac{dCCr^{3+}}{dt} = -\alpha_2 \cdot COH^- \cdot CCr^{3+} \quad (3)$$

где  $COH^-$  - концентрация ионов гидроксила, г/дм<sup>3</sup>

$CFe^{2+}$  - концентрация ионов железа, г/дм<sup>3</sup>

$CCr^{3+}$  - концентрация ионов хрома, г/дм<sup>3</sup>

$\alpha_1$  - объемный электрохимический эквивалент гидроксила, г/Кл · дм<sup>3</sup>

$\alpha_2$  - коэффициент рекомбинации ионов гидроксила и хрома, л/Кл · дм<sup>3</sup>

$\alpha_3$  - коэффициент рекомбинации ионов гидроксила и железа, л/Кл · дм<sup>3</sup>

$\alpha_4$  - объемный электрохимический эквивалент железа, г/Кл · дм<sup>3</sup>

Изменение концентрации ионов гидроксила, образующихся на катоде в результате разложения воды можно определить из уравнения (1):

$$\frac{dCOH^+}{dt} + \alpha_1 \cdot I - \alpha_2 \cdot COH^- \cdot CCr^{3+} - \alpha_3 \cdot COH \cdot CFe^{2+} = 0$$

Из чего следует равновесная концентрация ионов железа:

$$COH^+ = \frac{\alpha_1 \cdot I}{\alpha_2 \cdot CCr^{3+} + \alpha_3 \cdot CFe^{2+}} \quad (4)$$

Равновесная концентрация ионов железа в электролите может быть определена из уравнения (2). В стационарном режиме работы электролизера имеем:

$$\begin{aligned} \frac{dCFe^{2+}}{dt} &= \alpha_4 \cdot I - \alpha_3 \cdot CFe^{2+} \cdot COH^- \\ \frac{dCFe^{2+}}{dt} + \alpha_3 \cdot CFe^{2+} \cdot COH^- - \alpha_4 \cdot I &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Решение уравнения (5) можно представить в виде:

$$CFe^{2+} = e^{-\int \alpha_3 COH^-(t) dt} \cdot \left( C_1 + \int \alpha_4 I e^{\int \alpha_3 COH^-(t) dt} dt \right) \quad (6)$$

где  $C_1$  - постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий.

В установившемся режиме работы, когда  $CFe^{2+} = \text{const}$  из уравнения (6) получаем:

$$\begin{aligned} CFe^{2+} &= e^{-\alpha_3 COH^-(t)} \cdot \left( C_1 + \int \alpha_4 I e^{\alpha_3 COH^-(t) dt} dt \right) = \\ &= e^{-\alpha_3 COH^-(t)} \cdot \left( C_1 + \frac{\alpha_4 \cdot I}{\alpha_3 \cdot CFe^{2+}} \cdot e^{-\alpha_3 COH^-(t)} \right) = C_1 \cdot e^{-\alpha_3 COH^-(t)} + \frac{\alpha_4 I}{\alpha_3 \cdot CFe^{2+}} \end{aligned} \quad (7)$$

Постоянную интегрирования можно определить из условия, что в начальный момент времени концентрация ионов железа в электролите равна нулю.

$$CFe^{2+} = \frac{\alpha_4 \cdot I}{\alpha_3 \cdot CFe^{2+}} \cdot (1 - e^{-\alpha_3 COH^-(t)}) \quad (8)$$

Из выражения (8) видно, что концентрация ионов железа (II), возрастая во времени, стремится к своему предельному значению:

$$CFe^{2+} = \frac{\alpha_4 \cdot I}{\alpha_3 \cdot CFe^{2+}} \quad (9)$$

Изменение концентрации ионов хрома определяем по формуле 3:

$$\begin{aligned} \frac{dCCr^{3+}}{CCr^{3+}} &= -\alpha_2 COH^- dt \\ \ln CCr^{3+} &= -\int \alpha_2 COH^-(t) dt \end{aligned}$$

$$CCr^{3+}(t) = CCr^{3+} \cdot \exp(-\alpha_2 COH(t)dt) \quad (10)$$

$CCr^{3+}$ - начальная концентрация ионов хрома в растворе, г/дм<sup>3</sup>

Для того, чтобы определить вид зависимости концентрации ионов хрома в электролите от времени необходимо знать уравнение зависимости  $COH^+ = f(t)$ .

При установившемся режиме работы электролизера, очевидно, что  $\frac{dCOH^-}{dt} = 0$ , т.е.  $COH^+ = \text{const}$ . В этой ситуации из уравнения (10) имеем:

$$CCr^{3+}(t) = CCr^{3+} \cdot e^{-\alpha_2 COH^-(dt)} \quad (11)$$

Приведенные соотношения адекватно описывают процессы, протекающие в электрокоагуляторе.