

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ КРИТЕРИЯ БОЯРЕВИЧА-РОМЕРИО К ПРОМЫШЛЕННЫМ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАМ

**И.Н. Коростелев, О.Г. Проворова, Т.В. Пискажова, В.В. Синельников**

Алюминиевый электролизер представляет собой прямоугольную ванну, которая состоит из двух жидких слоев – слоя электролита и алюминия. Сильные электромагнитные поля, присутствующие в электролизере вызывают гравитационные волны. Волнение поверхности металла способствует массопереносу жидкого алюминия от катода в электролит, где он снова окисляется.

Свободная поверхность жидкости, находящейся в равновесии в поле тяжести, – плоская. Если под влиянием внешнего воздействия поверхность жидкости в каком-нибудь месте выводится из её равновесного положения, то в жидкости возникает движение, которое распространяется вдоль всей поверхности жидкости в виде волн, которые называются гравитационными. С технологической точки зрения за предел стабильности электролизера принимается минимальное значение расстояния анод–металл (межполюсное расстояние, МПР) при котором возникают незатухающие колебания поверхности раздела металл–электролит. Автоматическая система управления (АСУТП) определяет возникновение колебаний по флуктуациям измеряемого напряжения – уровню “шума”. Величина в 30 мВ считается нормой, а пороговое значение, выше которого «шум» считается высоким, – 70 мВ.

Критерий Бояревича-Ромерио [1] построен на математическом моделировании процесса развития длинных волн на поверхности раздела металл–электролит.

Для того чтобы электролизер работал устойчиво, необходимо выполнение следующего неравенства:

$$\begin{aligned}
 & (r_m - r_o)^2 g^2 p^4 h_m^2 h_{МПР}^2 \left( \frac{m'^2}{L_x^2} + \frac{n'^2}{L_y^2} \right) \left( \frac{m^2}{L_x^2} + \frac{n^2}{L_y^2} \right) \left( \frac{m'^2 - m^2}{L_x^2} + \frac{n'^2 - n^2}{L_y^2} \right)^2 \geq \\
 & \geq \frac{I_c^2}{4 \cdot L_x^2 L_y^2} e_k^2 e_{k'}^2 \left[ \frac{n' m - n m'}{L_x L_y} \left( B_{k'_x + k_x, k'_y + k_y} - B_{k'_x - k_x, k'_y - k_y} \right) + \right. \\
 & \left. + \frac{n' m + n m'}{L_x L_y} \left( B_{k'_x + k_x, k'_y - k_y} - B_{k'_x - k_x, k'_y + k_y} \right) \right]^2
 \end{aligned} \tag{1}$$

Обозначим через

$I_c$  – ток серии,

$$W_{m,n}^2 = \frac{\rho_M - \rho_{\text{э}}}{\rho_M + \rho_{\text{э}}} g \left( \left( \frac{\rho}{L_x} m \right)^2 + \left( \frac{\rho}{L_y} n \right)^2 \right) - \text{собственные частоты}$$

$\rho_M$  – плотность металла,  $\rho_{\text{э}}$  – плотность электролита,  $h_M$  – высота металла,  $h_{\text{МПП}}$  – межполюсное расстояние,  $L_x$  – длина электролизера,  $L_y$  – ширина электролизера.

$k = (k_x, k_y)$  – волновой вектор  $k_x = \frac{\rho}{L_x} m$ ,  $k_y = \frac{\rho}{L_y} n$ ,  $m, n$  – целые числа,

$$k^2 = \left( \frac{\rho}{L_x} m \right)^2 + \left( \frac{\rho}{L_y} n \right)^2, \varepsilon_k - \text{нормирующий множитель.}$$

Распределение вертикальной компоненты магнитного поля учитывается через ее преобразование Фурье:

$$B_{k_x, k_y} = \frac{4}{L_x L_y} \int_{\Gamma} B_z \sin k_x x \sin k_y y dx dy$$

Критическое значение МПП (порог устойчивости) – это то значение, при котором в (1) достигается равенство.

Если через  $h$  обозначить глубину жидкости, то условие того, что рассматриваются длинные волны, запишется в следующем виде  $kh \ll 1$ . Таким образом, можно задать ограничение на набор исследуемых волновых чисел. Этот выбор субъективный, так, например,

а) если выбирать  $kh < 0,4$ , то  $m_{\text{max}} = 3$ ,  $n_{\text{max}} = 1$

б) если выбирать  $kh < 0,65$ , то  $m_{\text{max}} = 6$ ,  $n_{\text{max}} = 2$

Авторы работы предлагают методику применения этого критерия для оценки областей устойчивости промышленных электролизеров в АСУТП и оценки границ применимости.

## Список литературы

1. Bojarevics and M.V. Romerio, Long wave instability in liquid metal-electrolyte interface in aluminum electrolysis cells: a generalization of Sele's criterion, European Journal of Mechanics, B/Fluids, Vol. 13, N 1, 1994, 33-56