

## Вычисление управляющих параметров работы электролизной ванны

*Ненахов Нил Денисович*

*Кафедра вычислительных методов*

*e-mail: s02200678@smc.msu.ru, nenakhov.neil@mail.ru*

*Научный руководитель — д.ф.-м.н. вед. науч. сотр. Савенкова Надежда Петровна*

*Научный консультант — д.ф.-м.н. вед. науч. сотр. Бычков Владимир Львович*

Эффективное управление промышленным процессом электролиза алюминия требует внедрения автоматизированных систем управления – АСУТП. Высокие температуры и агрессивность среды, в которой происходит процесс электролиза алюминия, не позволяют провести измерения большинства параметров управления. Наиболее перспективным направлением является разработка новых алгоритмов управления, построенных на понимании и моделировании технологического процесса электролитического получения алюминия.

Для определения выхода по току и потерь выхода по току ( $\eta$ ,  $\Delta\eta$  соответственно), которые являются важными управляющими параметрами, необходимы замеры межполюсного расстояния, плотности анодного тока и формы поверхности раздела сред металл – электролит, которые на практике определяются весьма приблизительно [1]. В свою очередь, трёхмерная трёхфазная математическая модель процесса электролиза алюминия [2], на основе которой был реализован вычислительный комплекс, позволяет достаточно точно вычислить величины, необходимые для определения управляющих параметров, и учитывает взаимосвязь всех основных динамических процессов, происходящих в электролизной ванне.

В зависимости от режима работы электролизной ванны процесс электролиза может быть МГД – стабилен или МГД – нестабилен. В случае МГД – нестабильной работы ванны расстояние между анодом и катодом может быть критически мало, что ведёт к резкому уменьшению выхода по току. В работе приводятся результаты вычисления величины выхода по току в разные моменты времени при МГД – стабильности и МГД – нестабильности ванны.

На практике в АСУТП применяется эмпирическая формула, разработанная институтом ВАМИ [3] (Всероссийский алюминиево – магниевый институт). При этом значения параметров определяются экспериментально в нескольких отдельных точках рабочего пространства ванны. Поскольку на практике значениям параметров, входящих в формулу, соответствует большая погрешность, то величина выхода по току  $\eta$  по данной формуле вычисляется с значительной погрешностью.

Из проведенных в работе вычислений следует, что выход по току имеет общую тенденцию на уменьшение при искривлении поверхности.

В работе [4] представлена полуэмпирическая формула выхода по току, опирающаяся на распределения МПР по горизонтальному срезу ванны. Однако ее практическая реализация зависит от точности определения поверхности

раздела сред металл – электролит, а также требует достаточно точного вычисления поверхностного интеграла.

При этом величина МПР, как и в эмпирической формуле, определяется очень грубо, поэтому практическое ее использование весьма затруднительно. Более того, как показали проведенные в работе исследования, полуэмпирическая формула является противоречивой. Поэтому ее применение не является целесообразным. В работе предлагается модифицированная формула потерь выхода по току  $\Delta\eta$ :

$$\Delta\eta = (1 - \eta_0) \cdot \frac{1}{S} \cdot \int_Z \frac{l(x, y) ds}{H(x, y)}, \quad (1)$$

в которой значения величин межполюсного расстояния  $l(x, y)$  и глубины жидкого металла  $H(x, y)$  в каждый момент времени определяются при помощи трёхмерного математического моделирования.

Для вычисления по модифицированной формуле (1) в работе предложен метод простой триангуляции второго порядка точности. Точность исследована на сгущающихся сетках. Численный расчёт в плоскости электролизной ванны значений потерь выхода по току в случаях МГД – стабильной работы ванны, при выемке анодов и анодном эффекте показал, что наибольшие потери выхода по току соответствуют анодному эффекту, а наименьшие – МГД – стабильному режиму работы ванны. Этот вывод соответствует практическим наблюдениям.

Также с помощью модифицированной формулы (1) получены распределения потерь по току в электролизной ванне. Анализ проведённых численных экспериментов позволяет сделать выводы о качественном соответствии результатов расчетов и результатов лабораторных исследований стабильности режима работы ванны.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Белолипецкий В. М., Пискажова Т. В. Математическое моделирование процесса электролитического получения алюминия. Решение задач управления технологией: монография // (Красноярск, 2012 г.). — Сиб. федер. ун-т. — С. 13–58.
- [2] Калмыков А. В. Математическое моделирование влияния процессов тепломассопереноса на МГД-стабильность алюминиевого электролизёра // Москва: Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. Факультет вычислительной математики и кибернетики. Кафедра вычислительных методов. Диссертация. 2017 г.
- [3] Громова Б. С. Тепловые процессы в электролизерах и миксерах алюминиевого производства. // М.: 1998. С. 322.
- [4] Деркач А. С. Влияние неустойчивости тока серии на технологический режим алюминиевых электролизеров // Цветные металлы. – № 3. – 1967. 39–40 с.