

УДК 621.746

**В.Ю.БАЖИН**, д-р техн. наук, доцент, *bazhin-alfoil@mail.ru*

**Д.В.МАКУШИН**, канд. техн. наук, (812) 328-84-59

**А.В.САИТОВ**, студент, (812) 328-84-59

*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург*

**V.YU.BAZHIN**, Dr. in eng. sc., associate professor, *bazhin-alfoil@mail.ru*

**D.V.MAKYSHIN**, post-graduate student, (812) 328-84-59

**A.V.SAITOV**, student, (812) 328-84-59

*National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg*

## КОНЦЕПЦИЯ РАБОТЫ АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА БЕЗ АНОДНОГО ЭФФЕКТА

Обсуждается проблема повышения энергетической эффективности работы мощных алюминиевых электролизеров во время магнитодинамических волнений при анодном эффекте. Предлагается концепция работы электролизера без анодных эффектов, которая связана с мониторингом основных параметров и дискретным дозированием через систему питания глиноземом.

**Ключевые слова:** алюминиевый электролизер, выход по току, система питания глиноземом, магнитодинамическая стабильность.

## PRODUCTION STRATEGY OF ALUMINIUM REDUCTION POT WITHOUT ANODE EFFECT

The problem of increase of energy performances for higher amperage aluminum pots is discussed during magnet dynamic instability at anode effect. The concept of aluminum production without anode effects which is connected with monitoring of key parameters and discrete alumina feeding is offered.

**Key words:** aluminium reduction pot, current efficiency, alumina feeding system, magnet-dynamic stability.

Во время анодного эффекта (АЭ) повышается напряжение на электролизере за счет увеличения сопротивления в межэлектродном пространстве (МЭП) на 20-30 В. Во время анодного эффекта (2-3 мин) нарушается тепловой баланс электролизера, за счет резкого увеличения температуры резко возрастает расход фторидов и начинается выделение газов  $CO$ ,  $CF_4$ ,  $C_2F_6$  с уносом тепла [2]. Увеличение количества анодных эффектов на электролизере связано с проблемами поступления в электролит глинозема, отсутствием пробивки корки, низким уровнем электролита, механическим неисправностями пробойника, недостатком дозы, слабым давлением сжатого воздуха.

Снижение частоты анодных эффектов до 0,08 в сутки возможно только при загрузке высококачественного глинозема через автоматизированные системы питания глиноземом (АПП), работающим по специальным алгоритмам. Системы АПП работают в условиях высокого содержания пыли, влияния магнитного поля, абразивного износа и повышенных температур (120-250 °С). Экстремальные условия эксплуатации пневмооборудования приводят к механическим неисправностям и остановкам системы АПП. Такие показатели, как концентрация глинозема, межполюсное расстояние, криолитовое отношение, уровень металла и электролита регистрируются после ручных измере-

ний, проводимых обслуживающим персоналом. Например, контроль криолитового отношения или концентрации глинозема носит долговременный характер (более 3 ч). Таким образом, из-за большой инертности процесса контроля некоторых параметров алюминиевый электролизер может быть технологически разбалансированным.

Период нестабильности работы электролизера проявляется при увеличении частоты анодных эффектов и во время образования глиноземистых осадков в районе питателей. Эти два фактора оказывают детерминирующее воздействие на температуру электролита, когда образование осадка приводит к изменению движения потоков расплава и затрудняет прохождение тока. Необходимо отметить, что появление таких зон вызывает колебания напряжения в МЭП (повышенный уровень шумов), который контролируется и регистрируется при помощи АСУТП.

Главной задачей питания электролизера является поддержание концентрации глинозема в заданных пределах, когда при минимально допустимых значениях увеличивается подача сырья через питатели, а при перенасыщении уменьшается до расчетного значения [4].

Предлагается производить корректировку дозирования после текущего мониторинга технологических параметров при помощи изолированного питателя АПГ. Контроль сопротивления МЭП через АСУТП производится следующим образом:

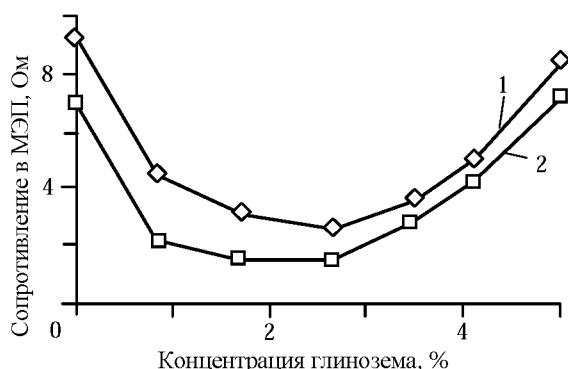


Рис. 1. Изменение уровня шумов в зависимости от концентрации и качества глинозема в МЭП  
1 – песочный глинозем; 2 – мучнистый глинозем

- рассчитывается скорость изменения сопротивления МЭП (глубина скачка) относительно стабильного значения по уставке;

- распознаются перепады напряжения (шумы), при которых произошел анодный эффект или замечено изменение теплового баланса;

- проводится мониторинг технологического процесса по напряжению при дозировании глинозема, добавках электролита, замене анодов, перетяжке анодной рамы, выливке электролизера;

- осуществляется корректировка сопротивления с учетом времени на все технологические операции на каждом электролизере;

- определяется пересчет скачка напряжения и текущего значения сопротивления только относительно обеднения содержания глинозема в МЭП.

Значения сопротивления в МЭП автоматически отфильтровываются компьютерной системой и после этого выделяются электролизеры, имеющие наибольшее количество шумов с высокими значениями. По этой выборке производится распознавание скачков сопротивления по идентичным «шумам» при минимальных концентрациях глинозема в МЭП. После цифровой обработки выдается результат с номерами электролизеров, для которых необходимо дополнительное питание (увеличение дозы глинозема и частоты пробивки корки).

Основной задачей контроля работы систем АПГ является их функционирование при низкой концентрации глинозема в электролите, что позволяет избежать анодных эффектов и осадков на подине. Перепад сопротивления в МЭП оценивается по десятибалльной шкале в зависимости от частоты и глубины шумов (рис. 1).

При использовании глинозема песочного типа зона стабильной работы электролизера шире – 1,8-2,5 %. При питании ванны мучнистым глиноземом образование осадков, интенсивный переход частиц глинозема в слой металла начинается уже на уровне концентрации, близкой к 2,0 %. Идентификация сигналов шумов позволяет реально оценить ситуацию с содержанием глинозема в рабочей зоне.

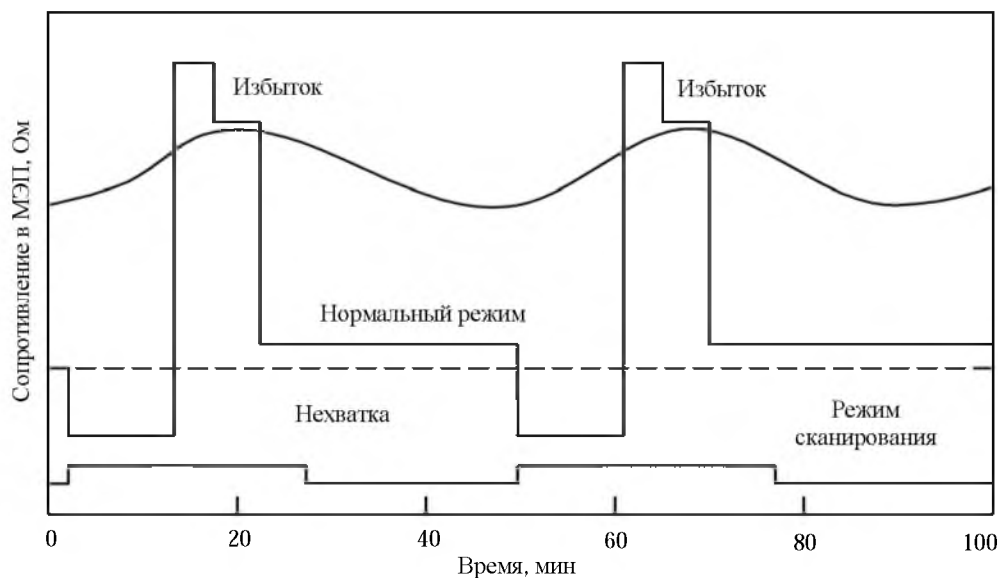


Рис. 2. Алгоритм управления концентрацией глинозема по сопротивлению в МЭП

Алгоритм управления проводится по верхнему и нижнему режиму сканирования сопротивления МЭП (рис.2).

В случае недостатка глинозема в электролите увеличивается частота пробивки корки и объем дозирования, а при повышенной концентрации резко снижается объем дозы. Выбранный алгоритм питания в определенном диапазоне концентрации глинозема для каждой электролизной ячейки позволяет управлять процессом в пяти режимах:

- 1) режим недостатка (концентрация глинозема менее 1 %);
- 2) режим избытка (концентрация глинозема более 3,5 %);
- 3) нормальный режим (диапазон концентрации с учетом марки глинозема);
- 4) аварийный режим (техническая неисправность одного из питателей);
- 5) анодный эффект.

Эти параметры обуславливают необходимое количество глинозема в электролите для максимальных показателей. Режимы управления питанием после сканирования сигналов падения напряжения зависят от анодного эффекта и корректируются с целью их полного исключения.

Компьютерная система производит цифровую обработку при помощи нескольких доступных опций: линейные преобразо-

вания, выравнивание через фильтр Кальмана, быстрое преобразование Фурье. Обработка данных сканирования производится в течение 2-3 с, при этом исключаются (отфильтровываются) шумы со скачками высокого напряжения, связанные с анодными эффектами [3]. После этого производится ранжирование по частоте сигнала.

Сопротивление электролизера

$$R_{эл} = (U_{эл} - 1,65)/I_{сер.}$$

По рассчитанному скачку сопротивления ( $\Delta R_{эл}$  или  $\Delta R_{эл}/\Delta T$ ) пошагово экстраполируются значения, совпадающие с изменением концентрации глинозема в расплаве по следующим критериям:

- значение уровня сопротивления обусловлено разницей текущего и максимального отклонения  $R_{эл}$  в зависимости от значения тока и напряжения;
- разность  $\Delta R_{эл}$  между нижним значением  $R_{мин}$  и действительным значением  $R_{эл}$  сравнивается с критерием разницы сопротивлений  $\Delta R_{глин}$ ;
- $\Delta R_{глин}$  периодически обновляется в зависимости от колебаний напряжения;
- после обновления данных сигнал преобразуется и поступает на корректировку дозирования и пробивку корки с определенной частотой.

Идентификация сигналов  $\Delta R_{\text{глин}}$ , обусловливающих падение концентрации глинозема в МПР, может быть искажена большим количеством шумов на электролизере. В связи с этим после линейного преобразования сигнал проходит фильтр Кальмана, при помощи которого производится цифровая обработка уровня шумов. На этой стадии отбрасываются шумы, не связанные с сигналами изменения концентрации глинозема, а далее производится сортировка по временным интервалам. Интерполяция значений позволяет сделать прогноз ситуации на следующий промежуток времени.

При высоком уровне шума происходит весьма активный выброс анодных газов и электролита. Снижение пузырькового шума наблюдается при увеличении уровня электролита. По среднестатистической оценке 1 см уровня электролита изменяет уровень шума на 3,7 мВ. Такие колебания идентифицируются и отсеиваются после фильтра. Анализ диаграмм шумов, связанных с МГД-воздействием, показывает, что они имеют отличительные характеристики и отражают рабочее состояние электролизера, а также уровень МГД-нестабильности.

Интегрированная система АПГ со специальным питателем, основанная на идентификации сопротивления электролизера, получает задание с подуровня, учитывая технологическое состояние электролизера в реальном времени (температура, уровень электролита, криолитовое отношение), дает команду на пробивку корки с определенной частотой и количеством глинозема для загрузки. Компьютерная система выстраивает логическую цепь команд управления при любых волнениях расплава и изменениях технологии. Система должна работать особенно быстро в период анодных эффектов.

При мониторинге текущей ситуации могут возникнуть отклонения с изменением свойств глинозема или присутствии в нем добавок. Чтобы свести к минимуму количество АЭ, нужно добиться максимального растворения всех порций глинозема, поступающих через точечные питатели системы АПГ. Для решения этой задачи необходимо выполнять следующие условия:

- сохранять стабильный тепловой баланс и минимальный перегрев электролита  $\Delta T$  за счет регулирования укрытия электролизера;

- избегать резкого увеличения содержания фторида алюминия;

- максимально стабилизировать напряжение;

- устранять резкое падение уровня электролита (объема);

- не допускать высокого уровня металла, ведущего к потерям тепла;

- не допускать высокой концентрации глинозема в электролите, приводящей к ограниченной растворимости и образованию осадков.

Разработанные алгоритмы дискретного питания электролизных ванн глиноземом и смесями при помощи интегрированных систем АПГ позволили автоматизировать процесс за счет мониторинга основных параметров и идентификации электрических сигналов АСУТП и снизить количество анодных эффектов до 0,08 в сутки [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бажин В.Ю. Управление анодным эффектом на алюминиевом электролизере / В.Ю.Бажин, А.А.Власов, А.В.Лупенков // *Металлург*. 2011. № 6. С.47-52.

2. Минцис М.Я. Электрометаллургия алюминия / М.Я.Минцис, П.В.Поляков, Г.А.Сиразутдинов. Новосибирск, 2001. 368 с.

3. Янко Э.А. Производство алюминия: Пособие для мастеров и рабочих цехов электролиза алюминиевых заводов. СПб, 2007. 376 с.

4. Thonstad J. Aluminium electrolysis, fundamentals of the Hall – Heroult process. Aluminium Electrolysis. 3d edition. Dusseldorf / J.Thonstad, P.Fellner, G.M.Haarberg et al. // Aluminium-Verlag. 2001. 359 p.

#### REFERENCES

1. Bazhin V.Y. Management the anode effect in aluminum electrolysis cell / V.J.Bazhin, A.A.Vlasov, A.V.Lupenkov // *Metallurg*. 2011. N 6. P.47-52.

2. Mintsis M.J. Electrometallurgy aluminum / M.J.Mintsis, P.V.Polyakov, G.A.Sirazutdinov. Novosibirsk, 2001. 368 p.

3. Janko E.A. Production of aluminum. Manual for the foreman and workers of electrolysis shops of aluminum plants. Saint Petersburg, 2007. 376 p.

4. Thonstad J. Aluminium electrolysis, fundamentals of the Hall – Heroult process. Aluminium Electrolysis. 3d edition. Dusseldorf / J.Thonstad, P.Fellner, G.M.Haarberg et al. // Aluminium-Verlag. 2001. 359 p.