

## Метод бесконтактного измерения криолитового отношения в электролитическом производстве алюминия

В. Ю. БАЖИН, А. В. БОЙКОВ, П. В. ИВАНОВ

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», С.-Петербург, Россия,  
e-mail: bazhin-alfoil@mail.ru

*Рассмотрена возможность применения оптико-электронного метода контроля («технического зрения») и мониторинга некоторых технологических параметров на примере электролитического производства алюминия из криолит-глиноземного расплава с целью повышения эффективности управления процессом.*

**Ключевые слова:** расплав, промышленная видеокамера, химический состав, криолитовое отношение, алюминиевый электролизер, спектр.

*The possibility of using of optoelectronic method of monitoring (the technical vision) some technological parameters for example the electrolytic process of aluminum producing from a liquid electrolyte on purpose to improve the efficiency of the process control is discussed.*

**Key words:** melt, industrial camera, chemical composition, bath ratio, aluminum reduction pot, spectrum.

В настоящее время контроль некоторых параметров металлургических процессов затруднен из-за высокотемпературной химически агрессивной среды расплава, поэтому оценка текущего состояния осуществляется посредством отбора проб с последующим рентгенофлуоресцентным анализом [1]. После получения результатов пробоотбора и температурных измерений проводится корректировка дозировки сырья через системы автоматического питания [2], при этом металлургический агрегат может продолжительное время находиться в разбалансированном состоянии, что неизбежно приводит к снижению его производительности. Сложившееся положение в области автоматизации металлургического процесса обусловлено технологическими условиями его протекания: высокой температурой, химической активностью некоторых компонентов расплава, не позволяющих проводить постоянный контроль с помощью стандартных термопар и других измерительных приборов [3, 4]. Длительность отбора проб из электролизера, их подготовки (измельчения, прессования) и анализа приводят к резким отклонениям взаимозависимых параметров электролиза. Основным технико-экономическим показателем электролитического производства алюминия является выход по току, который определяется как отношение количества алюминия, выделившегося в процессе электролиза, к теоретическому количеству алюминия, рассчитанному в соответствии с первым законом электролиза Фарадея. Таким образом, не исключены потери сырья и электроэнергии со снижением выхода по току.

**Физическая модель эксперимента.** В лабораторных условиях, близких к производственным, смоделирован процесс электролитического производства алюминия. Исследования проводили в шахтной печи ЭПЛ-3. Для достижения высокой точности измерений на подине печи разместили одновременно три углеродистых тигля с заранее приготовленным дробленым электролитом известного химического состава. Криолитовое отношение (КО) поддерживали в интервале 2,2—2,7 [3], температуру расплава в диапазоне 950—960 °С и контролировали с помощью хромель-алюмелевой термо-

пары, вмонтированной в корпус печи. Во время опытов с применением трубки-питателя на поверхность расплава вводили порции глинозема марки Г000 массой 5 г через равные промежутки времени (10 мин).

Известно, что при изменении состава электролита варьируется его цвет: от ярко-желтого у щелочных электролитов (КО = 2,7) до темно-бордового у кислых электролитов (КО = 2,2). В ходе экспериментов сформирована калибровочная база данных различных значений КО при фиксированных содержании глинозема  $\text{C}_{\text{Al}_2\text{O}_3}$  и температуры расплава. Сущность оптико-электронного метода заключается в анализе видеоряда, получаемого с промышленной видеокамеры за выделенный промежуток времени. В результате компьютерной обработки с помощью программного обеспечения изображений выбранных открытых участков поверхности электролита (отсутствует корка и пена на поверхности расплава) получали усредненное значение яркости. Экспериментальные значения яркости расплава с различным КО линейно аппроксимировали с достоверностью 0,99014.

Для регистрации и обработки параметров процесса электролиза использовали промышленные видеокамеры фирмы Basler: цветную «асА640-120gc» и монохромную «асА640-120gm», а также специально разработанный авторами программный пакет «СИА КГР» (система измерительная автоматизированная для криолит-глиноземного расплава). Камеры устанавливали на расстоянии 0,8 м от подины печи внутри защитного кожуха, снижающего негативное влияние механических повреждений и предохраняющего видеокамеры от перегрева.

**Алгоритм измерения технологических параметров.** Программное обеспечение для регистрации, обработки и визуализации измеряемых данных создано авторами на базе современной многофункциональной среды разработки компании National Instruments (США) — LabVIEW и библиотеки IMAQ Vision для обработки изображений. В разработанном программном продукте реализовано взаимодействие персонального компьютера и видеокамер фирмы Basler по про-

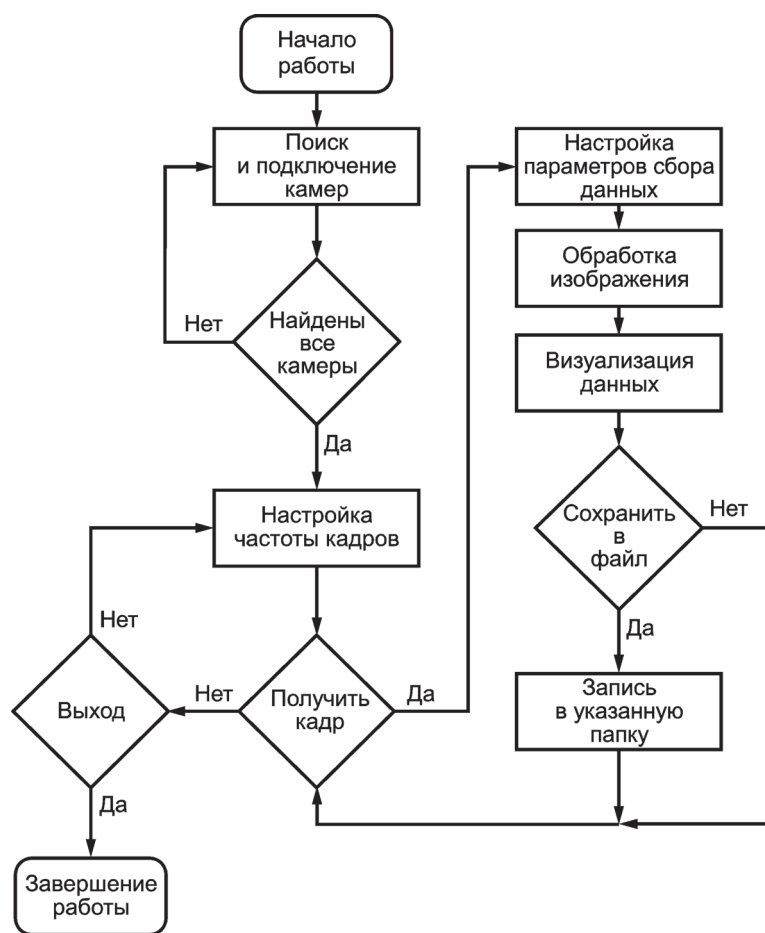


Рис. 1. Структурная схема алгоритма работы программного пакета «СИА КГР»

токолу TCP/IP. Текущая версия программы позволяет подключать как цветные, так и монохромные камеры. Максимальное количество устройств для сбора видеоданных не ограничено разработанным программным пакетом и определяется только пропускной способностью сетевого подключения, частотой съемки и размером кадра.

Алгоритм работы программного пакета приведен на рис. 1. В автоматическом режиме или по требованию пользователя проводится поиск всех подключенных источников информации. Для работы с каждым устройством в отдельности

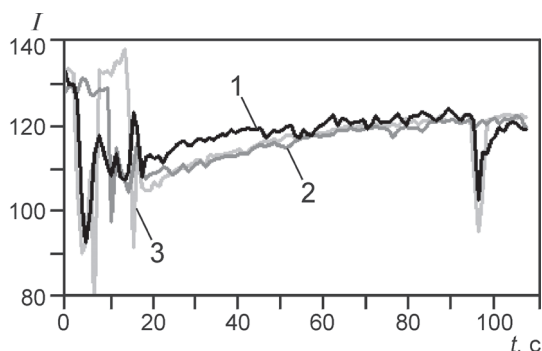


Рис. 2. Пример результата обработки видеопотока:  
1 — криолитовое отношение  $KO = 2,2$ ; 2 —  $KO = 2,4$ ; 3 —  $KO = 2,7$   
 $I$  — яркость электролита

запускается подпрограмма сбора данных, что позволяет настроить частоту кадров. В зависимости от поставленной задачи работа с камерами возможна в двух режимах: одиночный кадр (подготовительный этап работы — калибровка) или последовательность кадров (основной режим работы — непрерывный сбор кадров).

Интерфейс программы представлен в виде групп элементов индикации и управления. С помощью меню управления находят камеры и подключают к программе. Каждой обнаруженной камере присваивают порядковый номер, по которому в дальнейшем осуществляется мониторинг изображения. В зависимости от выбранного режима с камеры можно получать либо единичный кадр (изображение), либо последовательность кадров (видеоряд). Зафиксированные с камер данные измерений при необходимости можно сохранить на жесткий диск компьютера. На экране отображается полученное изображение, а также ряд индивидуальных настроек. В программе предусмотрена регулировка выдержки и усиления сигнала. Эти настройки позволяют устранить излишнюю засветку объекта наблюдения, снизив погрешность измерений [5, 6].

Параллельно с модулем сбора данных работает модуль обработки изображения, задача которого заключается в регистрации изменения интегральной яркости электролита, под которой понимается безразмерная физическая величина, характеризующая оттенок серого в диапазоне 0—255 для 8-битного монохромного изображения [7]. В случае цветной камеры происходит преобразование цветного 32-битного изображения в монохромное 8-битное с использованием встроенной в LabVIEW функции конвертирования изображений.

Анализ всего изображения, полученного с камеры, можно проводить в автоматическом режиме. Кроме того, предусмотрена возможность выбора области (или нескольких областей) произвольной формы на изображении для проведения выборочной (местной) обработки. Выделение области исследования осуществляется стандартным методом ввода данных непосредственно на самом изображении.

В режиме оценки яркости видеопотоков определяются мгновенные значения регистрируемых параметров, а также накапливаются данные для анализа изменений во времени (рис. 2). Из рисунка следует, что после загрузки порции глинозема частицы некоторое время находятся на поверхности, при этом резко снижается яркость электролита. Это связано с тем, что глинозем загружается при комнатной температуре. Затем его яркость начинает постепенно возрастать, при этом электролит занимает все большую площадь поверхности тигля, а толщина корки уменьшается. По этим данным интерпретируются физико-химические параметры расплава и согласуются с базой данных пробоотбора после химического анализа.

Для каждой области проводится расчет статистической информации — минимальное, максимальное и среднее значение яркости с выводом на экран в виде графиков и таблиц в правой части окна программы.

Созданный программный комплекс позволил сформировать базу экспериментальных значений спектров (видео-

материалов), а также результатов их обработки (данных об интегральной яркости) для проведения статистического анализа оптических показателей проб. В результате анализа данных обнаружен линейный характер зависимости яркости расплава от его химического состава. Кроме этого, выявлено влияние концентрации глинозема на яркость электролита. На основании этих изменений определена скорость образования криолит-глиноземной корки после перенасыщения при различном составе электролита и ряд других параметров в рамках исследуемого диапазона КО.

**Выводы.** В результате проведенного исследования показана возможность реализации бесконтактного мониторинга открытой поверхности электролита. Разработаны установка и способ оптико-электронного мониторинга состояния расплава в металлургическом агрегате. Выявлен характер зависимости яркости электролита от его химического состава. Установлено влияние концентрации глинозема на яркость электролита в течение заданного промежутка времени.

В условиях действующего производства предлагаемый способ на основе «технического зрения» может быть применен для контроля состояния металлургического агрегата при выполнении ряда технологических операций, например во время замены анодов, пробивки корки, выливки металла.

#### Л и т е р а т у р а

1. **Галевский Г. В. и др.** Металлургия алюминия. Технология, электроснабжение, автоматизация: Учеб. пособие для вузов. М.: Флинта, 2008.
2. **Сизяков В. М., Бажин В. Ю.** Особенности технологии современных мощных алюминиевых электролизеров // Цветная металлургия. 2010. № 10. С. 19—24.
3. **Поляков П. А., Васюнина И. П.** Электролиты в алюминиевой промышленности: Справ. пособие. Красноярск: КГАЦМиЗ, 2001.
4. **Jianping P. e. a.** Development and application of an energy saving technology for aluminum reduction cells // Light Metals. 2011. P. 1023—1027.
5. **Визильтер Ю. В. и др.** Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. М.: ДМК Пресс, 2007.
6. **Сойфера В. А. и др.** Методы компьютерной обработки изображений. М.: Физматлит, 2004.
7. **Гонсалес Р., Вудс Р.** Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005.

*Дата принятия 23.09.2014 г.*

