УДК 004.942

М.А.ГЛУЩЕНКО
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ГЛИНОЗЕМА В АЛЮМИНИЕВОМ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЕ

Описано моделирование подсистем управления концентрацией глинозема в алюминиевом электролизере с обожженными анодами. На основе математического обеспечения выполнена модель электролизера и подсистем управления в пакете MatLab ® 6.5 с использованием инструмента визуального моделирования Simulink и диаграмм состояний и переходов StateFlow. Модель показывает, как изменяются во времени основные показатели процесса: межполюсное расстояние, концентрации глинозема и фтористого алюминия в расплаве, температура расплава, приведенное напряжение на электролизере.

The modelling of control segment of concentration aluminum oxidee in aluminium electrolysis cells with baked anodes are described in this article. The base of research is the model development of the installation. The modelling is executed in software package MatLab ® 6.5 with using visual design program Simulink and structural diagrams of conditions and transitions StateFlow. Figures of aluminum oxide concentration, fluoride salts concentration, temrerature of process, expect voltage are results of this work.

Технологический режим процесса электролитического получения алюминия характеризуется рядом показателей, в число которых включают температуру расплава, состав расплава (концентрация растворенного глинозема, Al_2F_3 и др.), расстояние между анодом и катодом (межполюсное расстояние), форму рабочего пространства, уровни металла и электролита, падение напряжения на электролизере и силу тока. Все эти показатели в той или иной степени влияют на эффективность процесса электролиза, которая оценивается удельным расходом электроэнергии, производительностью электролизера, качеством получаемого металла, продолжительностью межремонтного периода. Наряду с таким обширным перечнем технологических и технико-экономических показателей процесса имеется всего два управляющих воздействия на электролизер, способных оперативно регулировать эти показатели: изменение межполюсного расстояния перемещением анода и изменение расхода загружаемого в электролизную ванну глинозема.

В общем случае, эффективность процесса электролиза алюминия определяется четырьмя основными параметрами: температурой θ, концентрацией глинозема C, межполюсным расстоянием l и сопротивлением R, а цель управления заключается в стабилизации этих параметров возле их оптимальных значений.

Текущее состояние электролизера в динамике характеризуется тремя из четырех перечисленных показателей: l, θ, C или R, θ, C так как между R и l имеется статическая (безынерционная) связь. Переменные состояния l (или R), θ, C связаны динамическими соотношениями, которые описываются уравнениями мгновенного теплового и материального балансов электролизера. Автоматическому контролю доступны только напряжение на электролизере U и ток I, проходящий через него. Эти электрические параметры связаны с переменными состояния не непосредственно, а через его сопротивление R и обратную ЭДС E:

$$U = IR + E;$$
$$R = f_1(l, C, \theta);$$
$$E = f2(C, \theta).$$

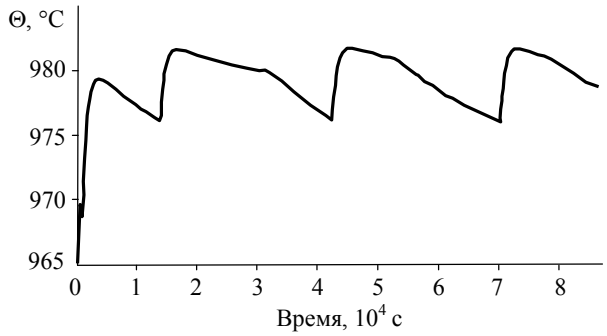


Рис.1. Изменение температуры электролита

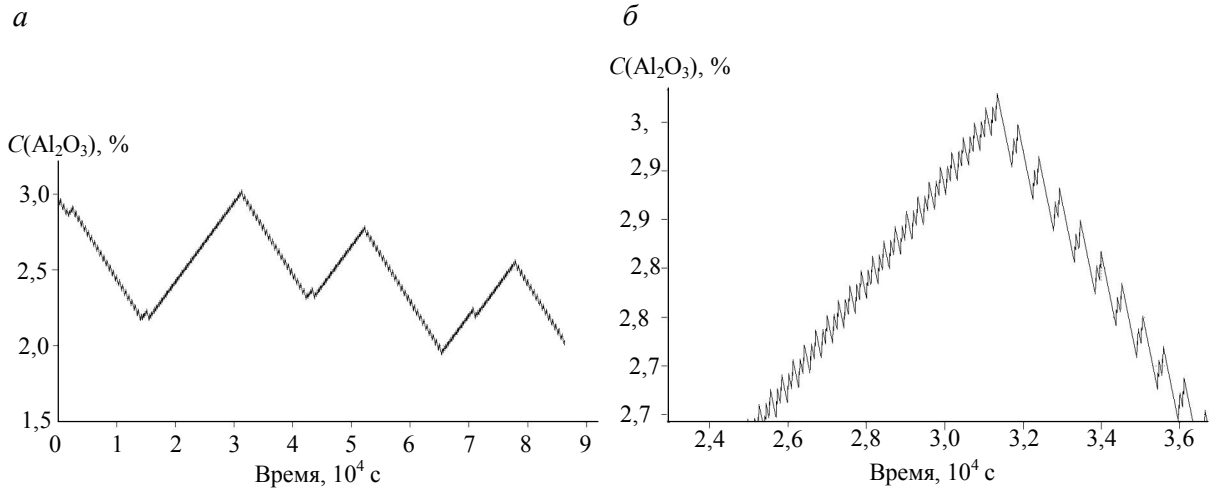


Рис.2. Изменение концентрации глинозема: за длинный (*а*) и за короткий (*б*) промежуток времени

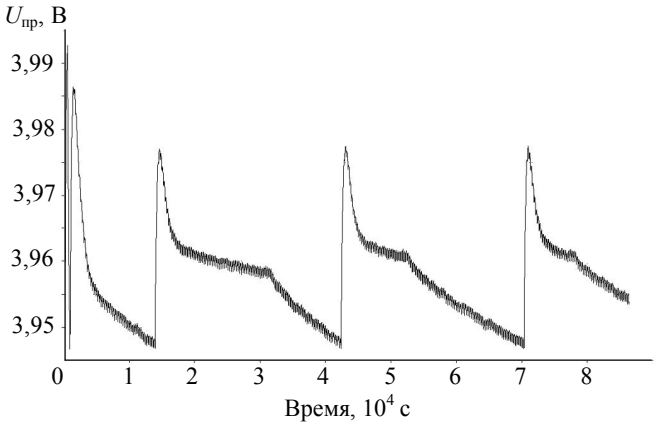


Рис.3. Изменение приведенного напряжения

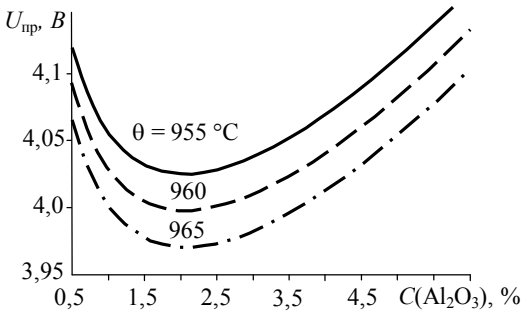


Рис.4. Зависимость приведенного напряжения от концентрации глинозема

Тогда уравнение косвенных измерений переменных состояния электролизера получим в виде: $U = f(l, C, \theta, I)$ или $U = f(R, C, \theta, I)$.

Имитационное моделирование заключается в имитации на ЭВМ процесса функционирования и структуры исследуемого объекта. Строгое детальное описание отдельных частей объекта в данном случае не предусматривается, а протекающие в них процессы имитируются в интегрированном виде, позволяющем определить лишь основные данные, необходимые для принятия решений на более высоком уровне.

Электролизер как объект управления по каналу концентрации глинозема представляет собой простое инерционное звено, описываемое уравнением материального баланса по глинозему. Управление таким объектом заключается в контроле за концентрацией глинозема, которая может быть оценена по результатам изменений напряжения и тока, проходящего через него.

На основании математического описания в пакете MatLab с использованием инструмента визуального моделирования Simulink создана имитационная модель электролизной ванны с обожженными анодами. На вход модели электролизера подаются расход глинозема, сила тока, выход по току, управляющее воздействие, расход фтористого алюминия, напряжение анодного эффекта и скорость выливки металла. Возмущения силы тока трактуются как автокоррелированные помехи.

Выходными величинами являются концентрация глинозема (рис.1), масса фторида алюминия, температура электролита (рис.2), межполюсное расстояние, измеренное напряжение, преобразуемое в приведенное напряжение (рис.3), криолитовое отношение.

Имитационные модель электролизера и модель подсистем управления концентрацией глинозема, как и система управления, используемая в промышленности, состоят из аналоговых и дискретных компонентов. Это гибридная система – система со сложным взаимодействием дискретной и непрерывной динамики. Она характеризуется не только непрерывным изменением состояния системы, но и скачкообразными вариациями в соответствии с логикой работы управляющей подсистемы. Поэтому для численного моделирования систем со сложным поведением используются диаграммы состояний и переходов, предложенные Д. Харелом. Моделирование физики технологических процессов (непрерывная составляющая поведения системы) дополняется моделированием логики работы управляющих ими устройств (дискретный компонент). Математический аппарат описания в данном случае – это система уравнений, но не дифференциальных, а дифференциально-алгебраическо-логических. Для моделирования подсистемы управления концентрацией глинозема использовались диаграммы состояний и переходов StateFlow. Модель электролизера адекватна реальному объекту, о чем свидетельствуют графики зависимости приведенного напряжения от концентрации глинозема (рис.4).

Преимуществом использования компонента StateFlow является возможность провести верификацию моделируемой системы, т.е. отладку и диагностику реализованного алгоритма (например, проверку всех веток алгоритма). Во время выполнения алгоритма StateFlow генерирует С-код, что дает возможность использовать ЭВМ с моделью как РС-контроллер.