УДК 658.012.011.56

И.В.ИВАНОВА, *д-р техн. наук, профессор, 1ivir@mail.ru, rilala_spb@mail.ru*
П.В.ПАШКИН, *аспирант, qwerty_1@mail333.com*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

I.V.IVANOVA, *Dr. in eng. sc., professor, 1ivir@mail.ru, rilala_spb@mail.ru*
P.V.PASHKIN, *post-graduate student, qwerty_1@mail333.com*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ГРУППЫ КОНТРОЛЛЕРОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫМИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАМИ

Предлагается математическая модель, использующая поэтапную концепцию моделирования тепловых режимов, которая позволяет производить оценку тепловых параметров электронных модулей системы автоматического управления алюминиевыми электролизерами на основе ограниченного набора исходных данных.

***Ключевые слова*:** математическая модель, электронные модули, алюминиевые электролизеры.

ANALYSIS MODEL OF THERMAL MODES OF CONTROLLER GROUPS OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM ALLOY ELECTROLYZE

A mathematical model using a phased concept of modeling thermal conditions, which enables the evaluation of thermal parameters of the electronic modules of the automatic control aluminum electrolysis cells, based on a limited set of source data.

***Key words*:** mathematical model, electronic modules, electrolytic aluminum.

В настоящее время автоматизация промышленных процессов черной и цветной металлургии стала необходимым элементом современного производства. Внедрение и разработка автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) черной и цветной металлургии приводит к повышению эффективности производства. Эффективные АСУТП металлургических комбинатов строятся на основе системного подхода, учитывающего всю совокупность процессов производственного цикла. Внедрение автоматизации в металлургии обеспечивает протекание производственных процессов, близкое к оптимальным условиям, повышает производственную способность установок, снижает расход электроэнергии, топлива, увеличивает эффективность всех металлургических процессов [1].

Одной из основных задач, которые решает автоматизация металлургических предприятий, является настройка и поддержание рациональных режимов ведения технологического процесса отдельного металлургического производства. В частности, автоматизация и оптимизация режимов работы алюминиевых электролизеров в цветной металлургии уменьшает расход электроэнергии на 10-12 %.

Современные системы автоматического регулирования алюминиевых электролизеров строятся как многоуровневые. На первом уровне управления располагается группа контроллеров (один контроллер на два

электролизера), которые размещаются в непосредственной близости от ванн. Они управляют междуполюсным расстоянием (МПР) и системой автоматической подачи глинозема (АПГ). Результаты воздействия передаются в головной компьютер центрального пульта управления (второй уровень), с которого данные о протекании производственного процесса поступают в вычислительный центр – третий уровень АСУП.

В наиболее тяжелом тепловом режиме функционируют контроллеры (электронные модули) первого уровня. Их надежность определяет эффективность работы производственного участка и всего предприятия в целом. В связи с этим еще на этапе проектирования системы управления необходимо определить ожидаемые тепловые показатели функционирования контроллеров, что обусловливает разработку их адекватных тепловых моделей.

Совокупность контроллеров управления электролизерами, размещенных в шкафу (группе шкафов), можно представить как систему дискретных элементов различной формы (тел, оболочек) с источниками тепла или без них. Для анализа тепловых режимов такой конструкции в первом приближении может быть использована тепловая модель [3], но в силу принятых ограничений она имеет довольно узкую область применения.

Тепловую модель будем строить в предположении, что мощность, рассеиваемая в модулях, равномерно распределена по объему каждого тела, которое будем называть источником тепла. Будем считать, что тела имеют изотермические поверхности, а температура по объему внутренней среды (воздух, жидкость) распределена равномерно. Теплообмен между отдельными телами, а также средами осуществляется конвекцией, излучением и теплопроводностью.

В зависимости от того, как расположены нагретые поверхности и какова их температура, естественный теплообмен в замкнутых объемах может протекать различными способами. Такие модели относятся к моделям с сосредоточенными параметрами. Будем абстрагироваться от геометрических размеров, тогда каждое тело имеет два параметра: суммарную мощность тепловыделений в нем P и среднеповерхностную температуру; теплообмен между телами, между телами и средами характеризуется тепловой проводимостью σ.

Примем поэтапную концепцию моделирования тепловых режимов. В этом случае каждая моделируемая система разбивается на отдельные изотермические элементы. Должны быть известны внешние тепловые воздействия: температура сред или наружных поверхностей соседних модулей этого и вышележащих уровней, с которыми рассматриваемая конструкция находится в состоянии теплообмена. Процесс теплообмена таких моделей математически описывается системой алгебраических уравнений

$$\left.\begin{array}{l} \sum\limits_{j=2}^{N} \sigma_{1j}\left(t_1 - t_j\right) + \sum\limits_{k=1}^{K} \sigma_{1ck}\left(t_1 - t_{ck}\right) = P_1; \\ \cdots \\ \sum\limits_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N} \sigma_{ij}\left(t_i - t_j\right) + \sum\limits_{k=1}^{K} \sigma_{ick}\left(t_i - t_{ck}\right) = P_i; \\ \cdots \\ \sum\limits_{j=1}^{N-1} \sigma_{Nj}\left(t_N - t_j\right) + \sum\limits_{k=1}^{K} \sigma_{Nck}\left(t_N - t_{ck}\right) = P_N, \end{array}\right\},$$

где σ_{ij} и σ_{ick} – тепловые проводимости, которые в общем случае могут представлять собой сумму конвективной, лучистой и кондуктивной составляющих, Вт/К, при отсутствии теплообмена $\sigma_{ij} = 0$ и $\sigma_{ick} = 0$; P_i – мощность теплового рассеивания в i-м теле, Вт; $k = \overline{1,K}$ – номера наружных сред, тел с заданной среднеповерхностной, среднеобъемной температурой t_{ck}; $i = \overline{1,N}$; $j = \overline{1,N}$ – номера тел, оболочек, внутренних сред с неизвестными среднеповерхностными или среднеобъемными температурами.

В случае вентилируемой аппаратуры связь между температурой потока воздуха внутри оболочек $t_{\text{в}}$ и снаружи $t_{\text{в.вх}}$, $t_{\text{в.вых}}$ определяется выражением $t_{\text{в}} = \left(t_{\text{в.вх}} + t_{\text{в.вых}}\right)/2$. Тогда тепловая мощность, выносимая воздухом из аппаратуры,

$$G_V \rho c_p \left(t_{\text{в.вых}} - t_{\text{в.вх}}\right) = 2G_V \rho c_p \left(t_{\text{в}} - t_{\text{в.вх}}\right),$$

где G_V – объемный расход теплоносителя; ρ и c_p – плотность теплоносителя и его теплоемкость при постоянном давлении.

Исходная система уравнений – нелинейная, так как тепловая проводимость тел зависит от искомых температур. Для решения уравнений можно использовать стандартные методы решения систем линейных алгебраических уравнений и метод итераций. В этом случае начальные приближения температур задаются на основе оценочных расчетов тепловых режимов и данных предыдущего этапа моделирования. Для определения тепловых проводимостей можно воспользоваться моделями и методиками, приведенными в работе [2] .

Предлагаемый способ моделирования достаточно универсален, позволяет описывать тепловой режим разнообразных систем электронных модулей, отдельных модулей, проводить декомпозицию с различной степенью детализации. Для проведения оценочных расчетов используется менее детальное разбиение.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Глинков Г.М.* АСУ ТП в черной металлургии / Г.М.Глинков, В.А.Маковский. М., 1999. 310 с.

2. *Дульнев Г.Н.* Теплопроводность смесей и композиционных материалов / Г.Н.Дульнев, Ю.П.Заричняк. М., 1974. 264 с.

3. *Лутченков Л.С.* Тепловые режимы аппаратуры многоканальной связи / Л.С.Лутченков, В.А.Лайне. СПб, 1995. 186 с.

REFERENCES

1. *Glinkov G.M., Makovsky V.A.* ACS in the steel industry. Moscow, 1999. 310 p.

2. *Dulnev G.N., Zarichnyak Y.P.* Thermal conductivity of blends and composites. Moscow, 1974. 264 p.

3. *Lutchenko L.S., Laine V.A.* Thermal regimes multichannel communication equipment. Saint Petersburg, 1995. 186 p.