

УДК 621.385.683.9

Прицелов М.А., кандидат технических наук, доцент (БГУ)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
МНОГОЗОННЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Математическое моделирование динамических характеристик многозонных электродных электронагревателей затруднено выраженной температурной зависимостью удельного сопротивления обрабатываемой среды, а также изменением мощности нагрева по зонам при ее протекании в нагревателе. При этом зоны нагрева могут иметь между собой электрическую связь аналогичную параллельному, последовательному и смешанному соединению термозависимых сопротивлений. С технической точки зрения на практике наиболее целесообразно использование плоскосимметричных электродных электронагревателей с двумя электродами, обдуваемыми канал с переменным сечением по его длине и тремя и более электродами, образующими канал с постоянным сечением. В первом случае все условно разделенные зоны электронагревателя имеют параллельную электрическую связь и включены на полное напряжение питания, следовательно, электротепловые процессы, происходящие в нем в одномерном пространстве и во времени, опишутся следующим дифференциальным уравнением:

$$C \cdot \rho \cdot N(x) \cdot \frac{d\theta}{dt} + C \cdot G \cdot (\theta/dx) = (U^2 \cdot P(x) \cdot \eta_e) / (r(\theta) \cdot N(x)),$$

где C - удельная теплоемкость обрабатываемой среды; ρ - плотность обрабатываемой среды; $N(x)$ - расстояние между электродами; $P(x)$ - ширина электродов; x - текущая длина электронагревателя; θ - температура обрабатываемой среды; t - время нагрева; G - массовый расход обрабатываемой среды; U - напряжение питания электронагревателя; $r(\theta)$ - удельное сопротивление обрабатываемой среды; η_e - КПД электронагревателя.

Во втором случае зоны электронагревателя имеют как параллельную, так и последовательную электрическую связь. При этом условно разделенные и находящиеся между двумя соседними относительно последовательности прохождения электрического тока электродами зоны имеют параллельную электрическую связь, а между двумя не соседними - последовательную, в совокупности образуя смешанное соединение термозависимых сопротивлений с перераспределением напряжения питания между последовательными зонами нагрева. В данном случае электротепловые процессы, происходящие в нагревателе, опишутся следующей системой уравнений:

$$C \cdot p \cdot H(x) \cdot P(x) \cdot (d\theta/dt) + C \cdot G \cdot (d\theta/dx) = (U_i^2 P(x) \cdot h) / (p(\theta) \cdot H(x))$$

$$U = \sum_{i=1}^n U_i;$$

$$U_i \cong R_i,$$

где U_i - падения напряжений на последовательно соединенных зонах; R_i - сопротивление зон нагревателя; n - число последовательно соединенных зон нагревателя.

Решением приведенных математических моделей является распределение температурного поля в обрабатываемой среде $\theta(x, t)$ при заданных краевых условиях. Анализ моделей показывает, что они являются нелинейными и не имеют точных аналитических решений. В связи с этим для нахождения решения приведенных моделей необходимо использовать численные методы, например, метод конечных разностей, заключающийся в замене дифференциального уравнения системой алгебраических уравнений построенной для разностной сетки с координатами узлов X_k, t^n по разностной схеме полученной на основании дифференциальных уравнений. Наиболее рациональным методом для решения полученной системы алгебраических уравнений является метод прогонки. Поскольку решаемые математические модели нелинейные, то на каждом шаге по времени их необходимо решать методом приближений, т. е. в зависимости от распределения температур необходимо уточнять все параметры зависящие от него.

Устойчивость описываемого вычислительного процесса в значительной степени зависит от шага разностной сетки по координате и времени. В данном случае устойчивость вычислительного процесса наиболее целесообразно контролировать по числу приближений (итераций) на каждом временном слое при заданной точности вычислений.