

К вопросу моделирования электротепловых процессов при обработке токопроводящей среды емкостным электродным электронагревателем с зонированной плоскопараллельной электродной системой

Прищепов М. А., канд. техн. наук, доцент, Рутковский И.Г., БГАТУ, г. Минск

При разработке электронагревательных установок большое значение придается математическому моделированию процесса нагрева. На численное моделирование затрачивается значительно меньшее количество ресурсов и энергии. Однако моделирование электротепловых процессов при обработке токопроводящей среды емкостным электродным электронагревателем (ЭЭН) с зонированной плоскопараллельной электродной системой достаточно сложная задача. Для описания нестационарного процесса движения обрабатываемой среды при электротепловой обработке использовались дифференциальные уравнения в частных производных:

$$\frac{\partial v}{\partial \tau} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial x} = \beta \cdot g \cdot (\theta_C - \theta_{C.H}); \quad (1)$$

$$C_p \cdot \rho_c \cdot \left(\frac{\partial \theta_C}{\partial \tau} + v \cdot \frac{\partial \theta_C}{\partial x} \right) = \frac{U_k^2 \cdot \eta}{\rho t(\theta_C) \cdot H^2}, \quad (2)$$

где C_p — удельная теплоемкость обрабатываемой среды, Дж/(кг·°C); θ_C — температура обрабатываемой среды, °C; $\theta_{C.H}$ — начальная температура обрабатываемой среды, °C; H — межэлектродное расстояние электронагревателя, м; ρt — удельное сопротивление обрабатываемой среды, Ом·м; ρ_c — плотность обрабатываемой среды, кг/м³; X — текущая координата длины электронагревателя, м; η — коэффициент полезного действия ЭЭН; v — скорость перемещения обрабатываемой среды при конвекции, м/с; β — коэффициент объемного расширения, 1/°C; g — ускорение свободного падения, м/с²; U_k — напряжение на k -ой последовательно соединенной зоне, В.

Кроме того в модели необходимо учитывать изменение температуры у дна емкости, которая зависит от средней скорости обрабатываемой среды в емкости $V_{CP.E}$ и времени начала установившегося движения обрабатываемой среды по всему объему емкости τ_{II} . Температура у дна емкости зависит от отношения времени с момента включения ЭЭН к времени начала установившегося движения обрабатываемой среды.

$$V_{CP.E} = V \frac{H \Pi}{S_{EMK}}; \quad (3)$$

$$\tau_{II} = \frac{M}{V_{CP.E} \cdot S_E \cdot \rho_C}; \quad (4)$$

$$\frac{\tau}{\tau_{\Pi}} < 1, \quad \theta_{C.Д} = \theta_{C.Н} + \frac{\int_0^{\tau_H} I^2 R dt}{C_P M} \cdot \frac{\tau}{\tau_{\Pi}}; \quad (5)$$

$$\frac{\tau}{\tau_{\Pi}} \geq 1, \quad \theta_{C.Д} = \theta_{C.Н} + \frac{\int_0^{\tau_H} I^2 R dt}{C_P M}, \quad (6)$$

где $\theta_{C.Д}$ — температура обрабатываемой среды у дна емкости, °С; S_{EMK} — площадь поперечного сечения емкости; M — масса обрабатываемой среды, кг; τ_H — время нагрева среды, с; Π — ширина электродов электронагревателя, м; I — мгновенное значение полного тока электронагревателя, А; R — мгновенное значение полного сопротивления электронагревателя, Ом.

Отношение времени с момента включения ЭЭН к времени начала установившегося движения среды определяет степень перемешивания нагретой в ЭЭН среды с нагреваемой средой в емкости. Когда это отношение равно или больше единицы, то движение среды в емкости устанавливается по всему объему и можно считать, что выделяемая при нагреве мощность также равномерно распределяется по всему объему нагреваемой среды. Введенные допущения и коэффициент перемешивания позволяют моделировать процесс нагрева емкостным ЭЭН с плоскопараллельной зонированной электродной системой с точностью 10-15%. Такой точности достаточно для практической реализации моделируемых ЭЭН.

Математическое моделирование процесса теплообмена проточных ЭЭН с термозависимыми поверхностно-распределенными электронагревателями при свободной конвекции обрабатываемой среды

Прищепов М. А., канд. техн. наук, доцент, Власенко А. П., БГАТУ, г. Минск

В наиболее общем случае проточная электронагревательная установка (ЭНУ) с поверхностно-распределенным электронагревателем (ПЭН) представляет собой сложную конструкцию, перенос теплоты в которой от тепловыделяющего элемента к нагреваемой среде сопровождается различными механизмами теплопередачи: теплопроводностью, конвекцией и излучением. Кроме того, процесс переноса теплоты может оказывать влияние на процесс ее выделения. Это происходит в том случае, если в ПЭН используется резистивное токопроводящее покрытие (РТП) с термозависимым удельным сопротивлением.