

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

Боев Ю.А., асс.; Качковский А.Д., магистрант; Пятышкин Г.Г., доц., к.т.н.
(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

В настоящее время остро встают вопросы экологической безопасности и охраны окружающей среды. Одним из основных загрязняющих агентов в промышленности остаются дымовые газы. В энергетике, металлургической, химической и других отраслях особо актуальной является их очистка от золы, пыли, дисперсных включений.

Наиболее современными и совершенными в техническом плане аппаратами для золо- и пылеулавливания являются электрофильтры. Жесткие требования предъявляют к проектированию данных аппаратов. Они должны выдерживать высокие температуры рабочих сред, воздействие неоднородных электрических и магнитных полей, быть устойчивыми к абразивному и химическому износу и т.д. Всем вышеперечисленным факторам подвержены и основные рабочие элементы электрофильтров – их электроды.

Целью данной работы является численное исследование температурного состояния электродов электрофильтров в нестационарных условиях, например, при пусках или остановках агрегата.

Принципиальная схема простейшего электрофильтра представлена на рисунке 1.

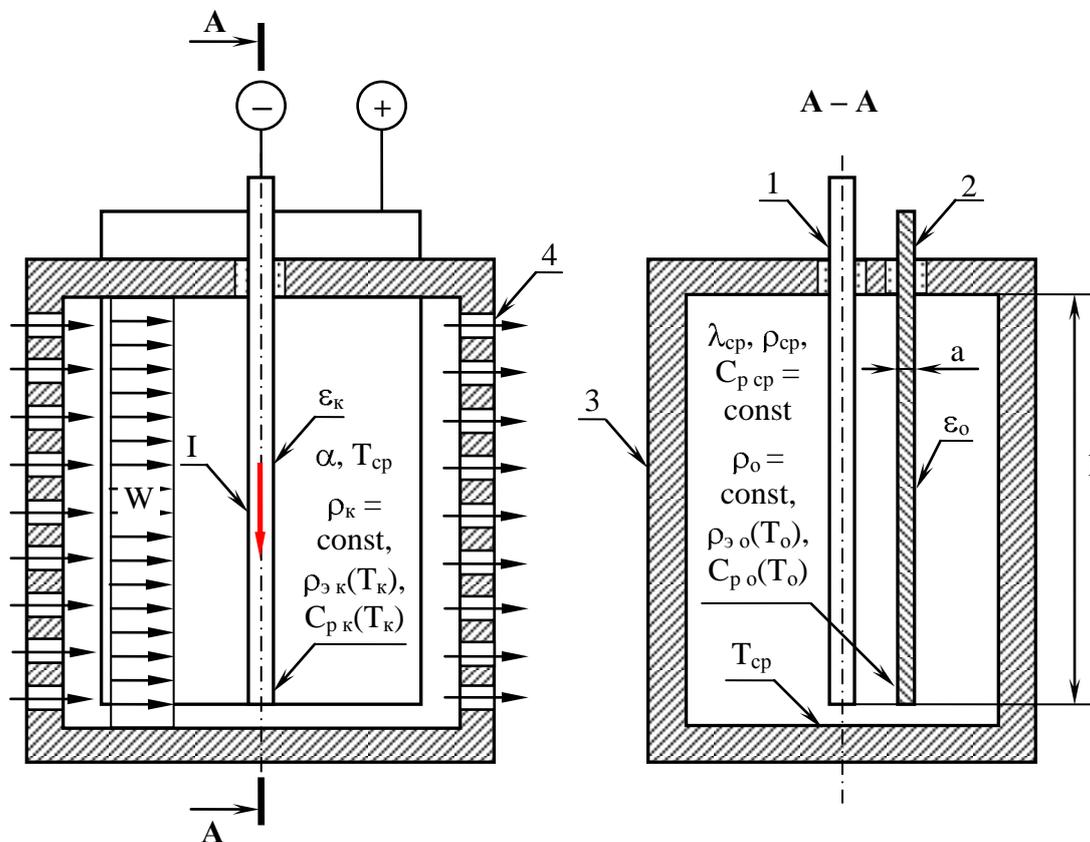


Рисунок 1 – Схема простейшего электрофильтра.

Принцип действия аппарата детально описан в [1]. Здесь же мы ограничимся лишь рассмотрением тепловых процессов, протекающих в электрофилт্রে.

Он состоит из двух основных элементов: коронирующего 1 и осадительного 2 электродов, помещенных в герметичный корпус 3 [1]. Коронирующий электрод представляет собой длинный проводящий стержень длиной l и диаметром d . Осадительным электродом является тонкая проводящая пластина толщиной a , длиной l и шириной b . Коэффициенты теплопроводности коронирующего и осадительного электродов λ_k и λ_o , а электрические сопротивления R_k и R_o соответственно.

Оба электрода обтекаются запылённым потоком дымовых газов с постоянной скоростью W и температурой T_{cp} , которые проходят через газораспределительные решетки 4. Через электроды проходит электрический ток I . Электроды помещены в объём, граница которого поддерживается при температуре T_{cp} . Степень черноты материалов, из которых изготовлены электроды ε_k и ε_o (рисунок 1).

Примем следующее допущение – пусть электроды прогреваются равномерно, т.е. $\lambda \rightarrow \infty$ (например, электроды изготовлены из меди), что соответствует термически тонкому телу, и изменением температуры по координатам можно пренебречь.

Таким образом, можно записать систему уравнений теплопроводности для коронирующего (к) и осадительного (о) электродов, которая будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \rho_k C_{pk} \cdot \frac{dT_k}{dt} &= \alpha_k \cdot (T_{cp} - T_k) + \varepsilon_k \cdot \sigma_0 \cdot (T_{cp}^4 - T_k^4) + \varepsilon_{пр} \cdot \sigma_0 \cdot \varphi_{k-o} \cdot (T_k^4 - T_o^4) \cdot \frac{-\Pi_k}{F_k} + \frac{Q_k}{F_k \cdot l_k} \\ \rho_o C_{po} \cdot \frac{dT_o}{dt} &= \alpha_o \cdot (T_{cp} - T_o) + \varepsilon_o \cdot \sigma_0 \cdot (T_{cp}^4 - T_o^4) + \varepsilon_{пр} \cdot \sigma_0 \cdot \varphi_{o-k} \cdot (T_o^4 - T_k^4) \cdot \frac{-\Pi_o}{F_o} + \frac{Q_o}{F_o \cdot l_o} \end{aligned} \quad (4)$$

где ρ_k, ρ_o – плотность материала соответствующего проводника, кг/м³;

C_{pk}, C_{po} – удельная массовая теплоемкость материала соответствующего проводника при постоянном давлении ($p = const$), Дж/(кг · К);

l_k, l_o и Π_k, Π_o – длина и периметр соответствующего проводника, м;

F_k, F_o – площадь поперечного сечения соответствующего проводника, м²;

$\varepsilon_{пр} = \left(\frac{1}{\varepsilon_k} - 1 \right) \cdot \varphi_{k-o} + \left(\frac{1}{\varepsilon_o} - 1 \right) \cdot \varphi_{o-k} + 1$ – приведенная степень черноты для двух поверхностей;

$\varphi_{k-o}, \varphi_{o-k}$ – угловые коэффициенты системы, состоящей из двух поверхностей;

$\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² · К⁴) – постоянная Стефана-Больцмана;

$Q_k = I_k^2 \cdot R_k, Q_o = I_o^2 \cdot R_o$ – джоулево тепло для соответствующего проводника, Вт.

Коэффициенты теплоотдачи α_k и α_o определяются отдельно для каждого электрода из соответствующих критериальных уравнений [2]:

– для коронирующего электрода:

$$Nu_k = \frac{\alpha_k \cdot d}{\lambda_r} = C \cdot Re^m \cdot Pr^{0,33}, \quad (1)$$

где λ_r – коэффициент теплопроводности дымовых газов, Вт/(м · К);

$Re = (W \cdot d) / \nu_r$ – критерий Рейнольдса;

ν_r – коэффициент динамической вязкости дымовых газов, м²/с;

$Pr = \nu_r / a_r$ – критерий Прандтля;

a_r – коэффициент температуропроводности дымовых газов, $\text{м}^2/\text{с}$;
 C, m – коэффициенты, зависящие от режима течения.

– для осадительного электрода:

$$\text{при } Re_o < 5 \cdot 10^5: \quad Nu_o = \frac{\alpha_o \cdot b}{\lambda_r} = 0,664 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \quad (2)$$

$$\text{при } Re_o > 5 \cdot 10^5: \quad Nu_o = \frac{\alpha_o \cdot b}{\lambda_r} = 0,037 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \quad (3)$$

Теплофизические и электротехнические свойства материала, из которого изготовлены электроды, также зависят от искомой температуры (рисунок 1). Эти зависимости приводятся в соответствующих справочниках.

Система дифференциальных уравнений (4) переписывалась таким образом, чтобы слева оставались только первые производные и, поставленная задача решалась численно при помощи метода Рунге-Кутты-Мерсона 5-го порядка точности. В качестве начальных условий использовались следующие значения: $t_k|_{\tau=0} = t_o|_{\tau=0} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Остальные данные брались следующими: $t_{cp} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$; $I = I_k = I_o = 250 \text{ mA}$; $W = 1 \text{ м/с}$; $d = 5 \text{ мм}$; $a = 2 \text{ мм}$; $b = l_k = l_o = 2 \text{ м}$; $\epsilon_k = \epsilon_o = 0,78$.

В результате исследований получено распределение температур электродов с течением времени, которое представлено на рисунке 2.

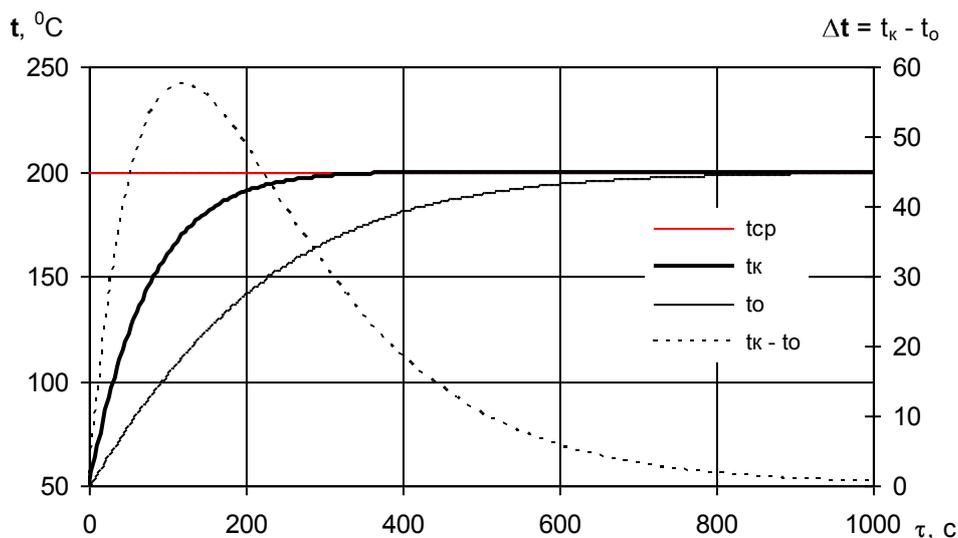


Рисунок 2 – Изменение температур коронирующего t_k и осадительного t_o электродов, а также их разности Δt , с течением времени.

Таким образом, описанная математическая модель нестационарного распространения тепла даёт вполне достоверные результаты и может быть применена для автоматизации управления тепловыми режимами исследуемых золоулавливающих установок, а также на стадии их расчёта и проектирования.

Перечень ссылок

1. Алиев Г.М.-А. Агрегаты питания электрофильтров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 136 с. (Б-ка электромонтера. Вып. 517).
2. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: Пер. с англ. / Справочник. – М.: Атомиздат, 1979. – 216 с.