

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

Боев Ю.А., ассистент; Качковский А.Д., студент; Пятышкин Г.Г., к.т.н. доц.  
(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.

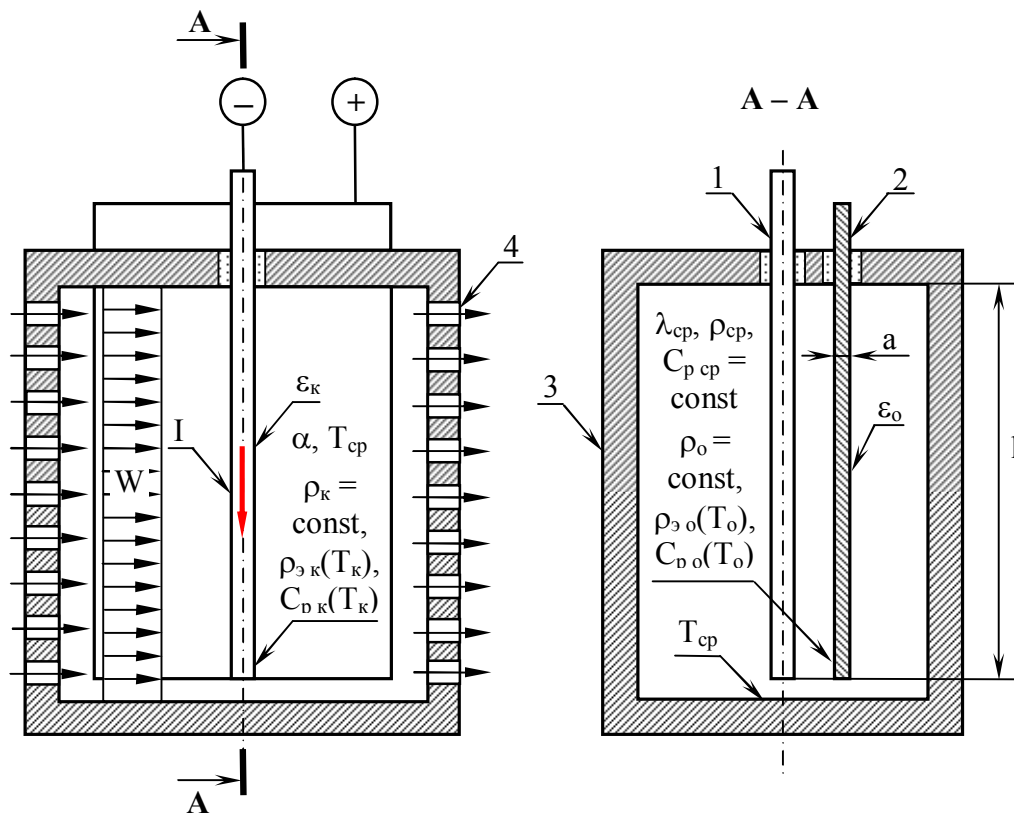


Рисунок 1 – Схема простейшего электрофильтра

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

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  $\lambda_k$  и  $\lambda_o$ , 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  $\varepsilon_k$  и  $\varepsilon_o$  (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:

$$\rho_{\varepsilon} C_{p\varepsilon} \cdot \frac{dT_{\varepsilon}}{dt} = \left[ \alpha_{\varepsilon} \cdot (T_{n0} - T_{\varepsilon}) + \varepsilon_{\varepsilon} \cdot \sigma_0 \cdot (T_{n0}^4 - T_{\varepsilon}^4) + \varepsilon_{i0} \cdot \sigma_0 \cdot \varphi_{\varepsilon-i} \cdot (T_{\varepsilon}^4 - T_i^4) \right] \cdot \frac{\Pi_{\varepsilon}}{F_{\varepsilon}} + \frac{Q_{\varepsilon}}{F_{\varepsilon} \cdot l_{\varepsilon}}$$

$$\rho_i C_{pi} \cdot \frac{dT_i}{dt} = \left[ \alpha_i \cdot (T_{n0} - T_i) + \varepsilon_{\varepsilon} \cdot \sigma_0 \cdot (T_{n0}^4 - T_i^4) + \varepsilon_{i0} \cdot \sigma_0 \cdot \varphi_{i-\varepsilon} \cdot (T_i^4 - T_{\varepsilon}^4) \right] \cdot \frac{\Pi_i}{F_i} + \frac{Q_i}{F_i \cdot l_i} \quad (1)$$

где  $\rho_{\varepsilon}$ ,  $\rho_i$  – плотность материала соответствующего проводника, кг/м<sup>3</sup>;

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

$l_k$ ,  $l_o$  и  $\Pi_k$ ,  $\Pi_o$  – длина и периметр соответствующего проводника, м;

$F_k$ ,  $F_o$  – площадь поперечного сечения соответствующего проводника, м<sup>2</sup>;

$\varepsilon_{i0} = \left[ \left( (1/\varepsilon_{\varepsilon}) - 1 \right) \cdot \varphi_{\varepsilon-i} + \left( (1/\varepsilon_o) - 1 \right) \cdot \varphi_{i-\varepsilon} + 1 \right]^{-1}$  – приведенная степень черноты для двух поверхностей;

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

$\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>) – постоянная Стефана-Больцмана;

$Q_{\varepsilon} = I_{\varepsilon}^2 \cdot R_{\varepsilon}$ ,  $Q_i = I_i^2 \cdot R_i$  – джоулево тепло для соответствующего проводника,

Вт.

Коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_k$  и  $\alpha_o$  определяются отдельно для каждого электрода из соответствующих критериальных уравнений [2]:

– для коронирующего электрода:

$$Nu_{\varepsilon} = \frac{\alpha_{\varepsilon} \cdot d}{\lambda_a} = C \cdot Re^m \cdot Pr^{0,33}, \quad (2)$$

где  $\lambda_a$  – коэффициент теплопроводности дымовых газов, Вт/(м · К);

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

$\nu_a$  – коэффициент динамической вязкости дымовых газов, м<sup>2</sup>/с;

$Pr = \nu_a/a_a$  – критерий Прандтля;

$a_a$  – коэффициент температуропроводности дымовых газов, м<sup>2</sup>/с;

$C, m$  – коэффициенты, зависящие от режима течения.

– для осадительного электрода:

$$\text{при } Re_i < 5 \cdot 10^5: \quad Nu_i = \frac{\alpha_i \cdot b}{\lambda_a} = 0,664 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \quad (3)$$

$$\text{при } Re_i > 5 \cdot 10^5: \quad Nu_i = \frac{\alpha_i \cdot b}{\lambda_a} = 0,037 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \quad (4)$$

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 (1) 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:  $t_{\varepsilon}|_{\tau=0} = t_i|_{\tau=0} = 50$  °С. Остальные данные брались следующими:  $t_{cp} = 200$  °С;  $I = I_k = I_o = 250$  мА;  $W = 1$  м/с;  $d = 5$  мм;  $a = 2$  мм;  $b = l_k = l_o = 2$  м;  $\varepsilon_k = \varepsilon_o = 0,78$ .

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

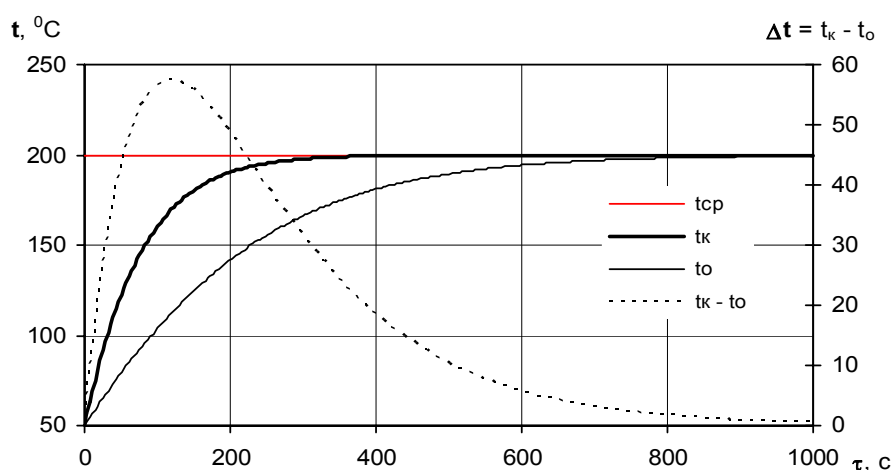


Рисунок 2 – Изменение температур коронирующего  $t_k$  и осадительного  $t_o$  электродов, а также их разности  $\Delta t$  с течением времени.

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.