

Московский энергетический институт
(Технический университет)

кафедра Котельных установок и экологии энергетики

Лабораторная работа № 3 по курсу

«Динамика котельных агрегатов»

**«Математическое моделирование переходных процессов в пароперегревателе
парового котла»**

Студенты:

Группа:

Преподаватель: Смирнов О.К.

Москва, 2007г

1. Физическая модель.

Объект моделирования — труба пароперегревателя — схематично изображен на рис. 1.

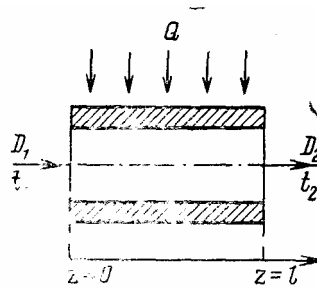


Рис.1 Модель радиационного пароперегревателя.

Наружный теплоподвод в радиационном пароперегревателе не зависит от параметров рабочей среды.

Задачей является построение переходных процессов изменения температуры перегрева пара во времени при скачкообразном увеличении температуры пара, поступающего в пароперегреватель. Расчеты процессов выполняются с применением моделей, отличающихся полнотой описания теплоаккумулирующей способности и способом учета распределения параметров вдоль оси трубы.

2. Допущения

Во всех рассмотренных ниже моделях не учитывается перенос теплоты за счет теплопроводности металла и рабочей среды. Принято, что плотность, теплоемкость пара и теплоемкость стенки трубы — постоянные величины. Наружный теплоподвод, давление и расход рабочей среды не изменяются в нестационарном процессе. Коэффициент теплоотдачи определяется условиями начального состояния.

В соответствии с принятыми ограничениями каждая модель полностью описывается уравнениями, отражающими балансы теплоты в паре и в стенке трубы, и уравнениями состояния рабочей среды.

3. Математическая модель.

Математическая модель рассматриваемого объекта с непрерывным изменением параметров по пространственной координате включает дифференциальные уравнения с частными производными (система I):

$$\left. \begin{aligned} D \frac{\partial h}{\partial z} + F \rho_c \frac{\partial h}{\partial \tau} &= \alpha H (\theta - t), \\ q - \int \rho_m c_m \frac{\partial \theta}{\partial \tau} &= \alpha H (\theta - t), \\ h &= h(t, P), \quad \rho_c = \text{const}, \quad \rho_m = \text{const}, \quad P = \text{const}. \end{aligned} \right\}$$

Математическая модель рассматриваемого объекта с постоянными или дискретно меняющимися параметрами по пространственной координате включает обыкновенные дифференциальные уравнения (система II):

$$\left. \begin{aligned} Dh_1 - Dh_2 + \alpha H (\theta_2 - t_2) &= G_c \frac{dh_2}{d\tau}, \\ Q - G_m c_m \frac{d\theta}{d\tau} &= \alpha H (\theta_2 - t_2), \\ h &= h(t, P), \quad \rho_c = \text{const}, \quad P = \text{const}. \end{aligned} \right\}$$

Система 1 и система 2 путем последовательного исключения переменных θ и h сводятся к одному уравнению динамики для объекта с распределенными и сосредоточенными параметрами, соответственно.

В зависимости от использования математического описания (1) или (2) и других дополнительных посылок строятся различные расчетные модели. Ниже рассмотрены три типа математических моделей объекта: 1) как элемента с распределенными параметрами; 2) как одного элемента с сосредоточенными параметрами; 3) как системы последовательно-включенных однотипных элементов с сосредоточенными параметрами.

Ниже приведены описания таких моделей, соответствующие передаточные функции и аналитическое решение уравнений динамики. Возможность учета реального распределения параметров в рамках моделей иллюстрируется на рис. 2.

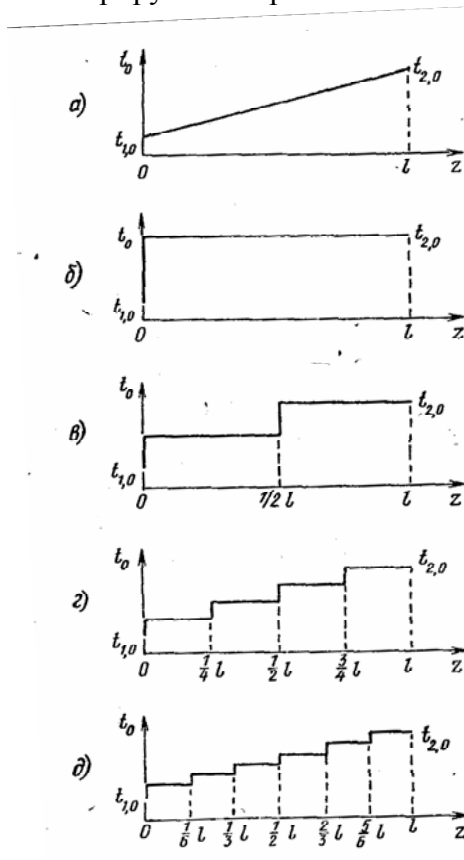


Рис 2 Распределение температуры пара вдоль оси пароперегревателя:
а – модели 1, 1а; б – модель 2; в – модель 4; г – модель 5; д – модель 6.

Модель с распределенными параметрами (модель 1)

Характер изменения температуры пара вдоль оси трубы в модели 1 изображен на рис. 2, а уравнение динамики, записанное для отклонений, получено из системы 1:

$$\varepsilon \frac{\partial^2 \Delta t}{\partial \eta^2} + \frac{\partial^2 \Delta t}{\partial \xi \partial \eta} + (1 + \varepsilon) \frac{\partial \Delta t}{\partial \eta} + \frac{\partial \Delta t}{\partial \xi} = 0,$$

где заменены переменные

$$\xi = \frac{z}{L} \text{ и } \eta = \frac{\tau - T_c z/L}{T_M}, \quad \varepsilon = \frac{T_c}{T_M}.$$

Передаточная функция модели 1 представляет собой трансцендентное выражение

$$W_{t, t_1} = e^{-\frac{T_M T_c S^2 + (T_M + T_c) S}{T_M S + 1} \xi}.$$

При краевых условиях $\Delta t(0, \eta) = \Delta t_1$ и $\Delta t(\xi, 0) = \Delta t_1 \cdot e^{-\xi}$ решение уравнения (2.3) имеет вид

$$\frac{\Delta t}{\Delta t_1} = \begin{cases} V_1(\xi, \eta), & \eta \geq 0, \\ 0, & \eta < 0. \end{cases}$$

Модель на основе аппроксимации трансцендентной передаточной функции звеном первого порядка (модель 1а)

Решение для модели 1, приведенное выше, аппроксимированное по методу площадей характеристикой звена первого порядка

$$W_{t_2, t_1} = \frac{1}{b_1 S + 1}$$

дает следующее выражение:

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = 1 - e^{-\frac{\tau}{b_1}}$$

где $b_1 := \xi \cdot (T_M + T_C)$

Полная модель с сосредоточенными параметрами (модель 2)

Температура пара в модели 2 одинакова во всех сечениях трубы (рис. 2 б). Уравнение динамики, записанное для отклонений, получено из системы 2

$$\xi T_M T_C \frac{d^2 \Delta t_2}{d\tau^2} + [(\xi + 1) T_M + \xi T_C] \frac{d\Delta t_2}{d\tau} + \Delta t_2 = T_M \frac{d\Delta t_1}{d\tau} + \Delta t_1.$$

Передаточная функция модели 2 представляет собой выражение

$$W_{t_2, t_1} = \frac{T_M S + 1}{\xi T_M T_C S^2 + [(\xi + 1) T_M + \xi T_C] S + 1}$$

Решение уравнения при нулевых начальных условиях имеет вид

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = 1 - \frac{1}{2B} [\alpha (1 - \beta T_M) e^{-\beta\tau} - \beta (1 - \alpha T_M) e^{-\alpha\tau}],$$

где

$$B = \sqrt{\frac{A^2}{4} - C}, \quad A = \frac{\xi (T_M + T_C) + T_M}{\xi T_M T_C}, \quad C = \frac{1}{\xi T_M T_C},$$

$$\alpha = \frac{A}{2} + B, \quad \beta = \frac{A}{2} - B.$$

Модель из четырех элементов с сосредоточенными параметрами (модель 5)

Модель составлена путем разбиения объекта на четыре однотипных элемента, соединенных последовательно. Каждый из элементов описывается уравнением, не учитывающим аккумуляцию теплоты в паре. Распределение температуры пара вдоль трубы показано на рис. 2, г. Уравнение динамики для объекта в целом представляется выражением

$$(\xi_0 + 1)^4 T_M^4 \frac{d^4 \Delta t_2}{d\tau^4} + 4(\xi_0 + 1)^3 T_M^3 \frac{d^3 \Delta t_2}{d\tau^3} +$$

$$+ 6(\xi_0 + 1)^2 T_M^2 \frac{d^2 \Delta t_2}{d\tau^2} + 4(\xi_0 + 1) T_M \frac{d\Delta t_2}{d\tau} + \Delta t_2 =$$

$$= T_M^4 \frac{d^4 \Delta t_1}{d\tau^4} + 4T_M^3 \frac{d^3 \Delta t_1}{d\tau^3} + 6T_M^2 \frac{d^2 \Delta t_1}{d\tau^2} + 4T_M \frac{d\Delta t_1}{d\tau} + \Delta t_1,$$

где $\xi_0 = \frac{\xi}{4}$.

Передаточная функция объекта

$$W_{t_2, t_1} = \frac{(T_M S + 1)^4}{[(\xi_0 + 1) T_M S + 1]^4}.$$

Решение уравнения при нулевых условиях имеет вид

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = 1 - \left[\frac{\xi_0^4 + 4\xi_0^3 + 6\xi_0^2 + 4\xi_0}{(\xi_0 + 1)^4} + \frac{\xi_0^4 + 4\xi_0^3 + 6\xi_0^2}{(\xi_0 + 1)^5 T_M} \tau + \right.$$

$$\left. + \frac{\xi_0^4 + 4\xi_0^3}{2(\xi_0 + 1)^6 T_M^2} \tau^2 + \frac{\xi_0^4}{6(\xi_0 + 1)^7 T_M^3} \tau^3 \right] e^{-\frac{\tau}{(\xi_0 + 1) T_M}}.$$

