

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Լ. Տ. ՕԳԱՆԵՅԱՆ

К РАСЧЕТУ КОНВЕКТИВНЫХ ПРЯМОТОЧНЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ПОДВОДОМ ТЕПЛА

В различных технологических аппаратах осуществляется конвективный нагрев движущихся материалов. В общем случае, через боковые поверхности этих аппаратов, может осуществляться дополнительный подвод тепла. Как для определения габаритов таких технологических аппаратов, так и для контроля над технологическим процессом, необходимо знать распределение температур газа и материала по длине аппарата. Наличие таких данных поможет научно обоснованному проектированию этих аппаратов и более эффективному их использованию.

В настоящей заметке рассматривается аналитический метод расчета этих величин путем совместного решения уравнений теплового баланса и теплоотдачи.

Расчетная схема аппарата приведена на рис. 1. Для элементарной поверхности Pdx уравнение теплоотдачи запишется как

$$dQ = \alpha P(t_g - t_m) dx. \quad (1)$$

Считая, что при этом температура газа понизится на dt_g , а температура материала повысится на dt_m , получим:

$$dQ = -q dx = G_g c_g dt_g = -c_m dt_m; \quad (2)$$

$$dQ = G_m c_m dt_m = c_g dt_g. \quad (3)$$

В этих выражениях

α — коэффициент теплоотдачи на поверхности движущегося материала;

P — периметр материала;

t_g — температура газов;

t_m — температура материала;

G_g, G_m, c_g, c_m — соответственно массы и удельные теплоемкости газов и материала;

c_g, c_m — полные теплоемкости газа и материала;

q — линейная плотность дополнительного теплового потока.

Совмещая уравнения тепловых балансов (2) и (3), получаем связь температурных градиентов газа и материала по длине аппарата

$$\frac{dt_r}{dx} = \frac{q_c}{C_1} - \frac{C_2}{C_1} \frac{dt_m}{dx}. \quad (4)$$

Для отыскания решения уравнения (4) избавимся в нем от одной из двух неизвестных функций. С этой целью сообразя уравнения (1) и (2), получаем выражения для переменной t_m и ее производной:

$$t_m = t - \frac{C_2}{\alpha l} \frac{dt_r}{dx} - \frac{q_c}{\alpha l}; \quad \frac{dt_m}{dx} = \frac{dt_r}{dx} - \frac{C_2}{\alpha l} \frac{d^2 t_r}{dx^2}.$$

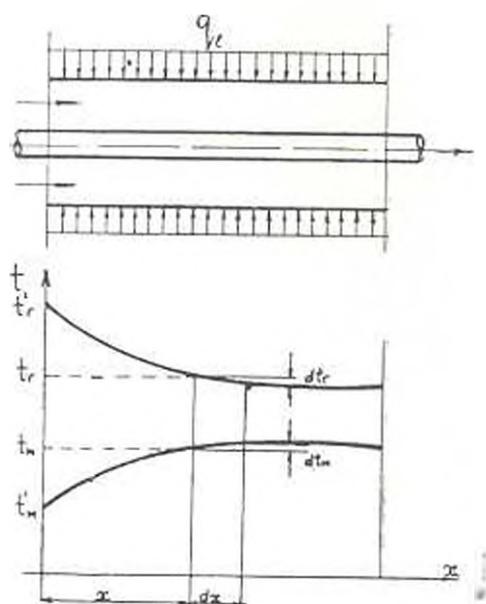


Рис. 1.

Подставляя эти значения в расчетное уравнение (4) и обозначая

$$\frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_2} = m, \text{ получаем:}$$

$$\frac{d^2 t_r}{dx^2} - m \alpha l \frac{dt_r}{dx} - \frac{q_c \alpha l}{C_1 C_2} = 0. \quad (5)$$

Общее решение уравнения (5) будет иметь вид

$$t_r = A_1 + A_2 e^{-m x} - \frac{q_c}{C_1} \frac{x}{C_2}. \quad (6)$$

Постоянные интегрирования A_1 и A_2 определяем из следующих граничных условий. При входе в аппарат ($x = 0$) температура газа равняется t_{r0} , температура материала t_{m0} .

Используя эти условия, получаем:

$$A_1 = t_{r0} - \frac{t_{r0} - t_{m0}}{m C_1} - \frac{q_c}{\alpha l m^2 C_1}, \quad A_2 = \frac{t_{r0} - t_{m0}}{m C_1} - \frac{q_c}{\alpha l m^2 C_1}.$$

Подставляя значения постоянных интегрирования в выражение (6) получаем:

$$t_c = t_{c1} - \frac{t_{c1} - t_{c2}}{mC_2} (1 - e^{-m\alpha x}) - \frac{q_1}{2\beta m^2 C_1} (1 - e^{-m\alpha x}) - \frac{q_1}{C_2 - C_1} x. \quad (7)$$

Соответственно для температуры материала по длине аппарата получается

$$t_a = t_{a1} + \frac{t_{a1} - t_{a2}}{mC_2} (1 - e^{-m\alpha x}) - \frac{q_1}{2\beta m^2 C_1 C_2} (1 - e^{-m\alpha x}) - \frac{q_1}{C_2 - C_1} x. \quad (8)$$

Если в аппарате отсутствует дополнительный подвод тепла ($q_1 = 0$), то выражения (7) и (8) принимают вид:

$$t_c = t_{c1} - \frac{t_{c1} - t_{c2}}{mC_2} (1 - e^{-m\alpha x}); \quad (7')$$

$$t_a = t_{a1} + \frac{t_{a1} - t_{a2}}{mC_2} (1 - e^{-m\alpha x}). \quad (8')$$

Иногда требуется технологический процесс в аппарате произвести при постоянной температуре. В этом случае $t_c = t_{c1} = \text{const}$ и линейная плотность дополнительного теплового потока по длине аппарата должна определяться по следующей закономерности:

$$q_1 = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{\frac{1}{2\beta m C_1} - \frac{x}{C_2 (1 - e^{-m\alpha x})}}. \quad (9)$$

Если же требуется по длине аппарата поддерживать постоянной температуру материала ($t_a = t_{a1} = \text{const}$), то, согласно выражению (8'), для линейной плотности теплового потока получим:

$$\bar{q}_1 = \frac{t_{c1} - t_{a1}}{\frac{C_2}{2\beta m C_1^2} - \frac{x}{C_1 (1 - e^{-m\alpha x})}}. \quad (10)$$

Расчеты по вышеприведенным формулам связаны с трудностями, возникающими при определении коэффициента теплоотдачи. В современной литературе по теплообмену почти что отсутствуют данные для определения этой величины в ограниченном пространстве при одновременном движении теплообменной поверхности и газа. Поэтому, при расчете таких аппаратов, для определения коэффициента теплоотдачи рекомендуется принять расчетные критериальные уравнения при движении газа в каналах с неподвижными теплообменными поверхностями. В этом случае за определяющую скорость надо принять разность скоростей движения газа и материала.

Таким образом, в настоящей работе получены соответствующие аналитические выражения для расчета как температур газа и материала по длине аппарата, так и для определения линейной плотности дополнительного теплового потока. Несомненно, что данную работу следует рассмотреть как первый шаг в создании теории рассматриваемых аппаратов. В дальнейшем, путем более глубоких теоретических и, конечно, экспериментальных исследований полученные результаты должны быть уточнены и дополнены.

ЕрПИ им. К. Маркса

Поступило 26. I. 1974.