

обеспечивающие реализацию модели теплообмена на начальном участке. Такие аппараты с успехом могут быть применены, например, в схемах отопления и горячего водоснабжения (ГВС) вместо секционных «скоростных» подогревателей типа ПВ или недостаточно надежных в эксплуатации пластинчатых теплообменников.

Конструктивная схема предлагаемых аппаратов соответствует представленной на рисунке с тем отличием, что в трубном пространстве, разделенном на несколько (4–12) ходов, движется греющая или нагреваемая вода. В межтрубном пространстве так же, как и в пароводяных аппаратах, осуществляется чисто поперечное обтекание горизонтального трубного пучка пленкой или сплошным потоком жидкости*.

УДК 532.546

С.В. Звягин
(S.V. Zvyagin)
УГЛТУ Екатеринбург
(USFEU, Ekaterinburg)

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ
ЧАСТИЦАМИ И ГАЗОМ В НАДСЛОЕВОМ ПРОСТРАНСТВЕ
ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ**
(MATHEMATICAL MODEL OF HEAT EXCHANGE BETWEEN
PARTICLES AND GAS IN SPACE HIGHER FLUIDIZED BED)

Разработана математическая модель теплообмена между частицами и газом в зоне всплесков, описывающая картину нагрева частиц в разреженной зоне псевдоожигенного слоя. Экспериментальные значения температуры газа в надслоевом пространстве хорошо согласуются с теоретическими зависимостями, построенными по математической модели.

The mathematical model of heat exchange between particles and gas in a zone of the splashes, describing a picture of heating particles in the discharged zone of a fluidized bed is developed. Experimental values of temperature of gas in space higher fluidized bed are well coordinated with the theoretical dependences constructed on mathematical model.

* Путилин Ю.В. Повышение эффективности и надежности водо-водяных подогревателей систем теплоснабжения // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса в рамках концепции 2020: матер. VII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. Ч. 2. С. 133-136.

Использование псевдооживленного слоя для утилизации тепла вторичных энергоресурсов (отходящих газов) энергетических агрегатов весьма перспективно в связи с большой интенсивностью переноса тепла из надслоевого пространства в ядро псевдооживленного слоя. Кроме того, очистка отходящих газов в зоне всплесков псевдооживленного слоя повышает комплексность использования сырья и способствует ликвидации вредных выбросов в атмосферу.

Автором разработана математическая модель охлаждения потока горячего газа в зоне выбросов аппарата с псевдооживленным слоем.

Рассматривается теплообмен между частицами, выброшенными из монодисперсного слоя в надслоевое пространство, и окружающим газом. Температура частицы, вылетающей из слоя со скоростью ϑ_0 , равна температуре слоя T_0 . На некотором расстоянии от слоя h_c частица пересекает границу зоны с температурой газа $T = f(h)$, до этой зоны теплообмен отсутствует, частица имеет температуру T_{s0} . В зоне выбросов частица движется в поле сил тяжести, сопротивлением газовой среды пренебрегаем.

Для нахождения распределения температур газа и частиц по высоте надслоевого пространства необходимо учитывать распределение частиц по скоростям вылета из псевдооживленного слоя. Скорость частиц ϑ_s , зависящую от высоты подъема h , можно вычислить из закона сохранения механической энергии, пренебрегая силами сопротивления: $\vartheta_s = \sqrt{\vartheta_0^2 - 2gh}$.

Различная температура частиц в надслоевом пространстве обусловлена разной высотой h подъема частиц с различной кинетической энергией. Температура газа также зависит от высоты $T = f(h)$, а температура частиц, кроме того, от начальной скорости ϑ_0 : $T_s = f(h, \vartheta_0)$.

Вследствие постоянства механической энергии на одной и той же высоте $\vartheta_s^B = \vartheta_s^H$, поэтому средняя температура частиц на высоте h принимается равной полусумме температуры частиц, движущихся вверх со скоростью ϑ_s^B , и температуры частиц, опускающихся со скоростью ϑ_s^H .

Уравнение теплообмена одиночной частицы на высоте h имеет вид:

$$c_s \rho_s V_s \frac{dT_s}{d\tau} = \alpha f_s (T - T_s) \quad (1)$$

Аналогичное уравнение можно записать для газа, рассматривая тепловой баланс элементарного объема dV , содержащего dN частиц:

$$c_p dV \frac{dT}{d\tau} = \alpha f_s (T_s - T) dN \quad (2)$$

В элементарном объеме dV находятся частицы с различными скоростями, поэтому правая часть уравнения (2), в которую входит температура частиц, усредняется по скоростям частиц.

Теплообмен между газом и частицами рассматривается в предположении, что коэффициент теплоотдачи между частицей и газом величина постоянная ($\alpha = \text{const}$) и распределение частиц по скоростям равномерное (концентрация частиц $n = 0$ при $\vartheta_0 > \vartheta_{\text{max}}$ и $n = n_0$ при $0 \leq \vartheta_0 \leq \vartheta_{\text{max}}$).

Решая систему дифференциальных уравнений (1) и (2) в предположении, что температура газа изменяется с высотой по экспоненциальному закону, получим распределение безразмерной температуры газа по высоте надслоевого пространства:

$$\Theta = \frac{T - T_{\text{го}}}{T_{\text{го}} - T_{\text{зо}}} = \exp\left\{\frac{2}{3}\beta \left[\sqrt{(1 - \bar{h})^3} - 1\right]\right\} + \varkappa \bar{h} \left\{1 - \exp\left[\frac{2}{3}\beta \sqrt{(1 - \bar{h})^3}\right] + \frac{4}{15}\beta \left[\sqrt{(1 - \bar{h})^5} - 1\right]\right\} \exp\left[\frac{2}{3}\beta \sqrt{(1 - \bar{h})^3}\right],$$

где \bar{h} – безразмерная высота; $\beta = \alpha f_s n_0 \vartheta_{\text{max}}^2 / 2g c_p \vartheta$; $\varkappa = \alpha f_s \vartheta_{\text{max}} / c_s \rho_s V_s g$.

По экспериментам с псевдооживленным слоем частиц корунда размером 270 мкм и критической скоростью уноса частиц $\vartheta_{\text{max}} = 2 \text{ м/с}$ получено $\beta = 0,15 \text{ 1/с}$ и $\varkappa = 0,03$.

УДК 621.791.75.042

С.М. Шанчуров
(S.M.Shanchurov)
УГЛТУ, Екатеринбург
(USFEU, Ekaterinburg)

В.В. Яковлев
(V.V.Yakovlev)

Федеральный экспертный Совет, Екатеринбург
(Federal Expert Council, Ekaterinburg)

А.В. Сурков
(A.V.Surkov)

ЦНИИТМАШ, Москва
(CNIITMASH, Moscow)

**ЭЛЕКТРОДНАЯ ПРОВОЛОКА СВ-08Г2С-С ДЛЯ СВАРКИ
КОНСТРУКЦИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ
(ELECTRODE WIRE SV-08G2S-S FOR WELDING OF ENERGY
ENGINEERING CONSTRUCTIONS)**

Разработана электродная проволока для сварки конструкций в газовых смесях на основе аргона и углекислого газа. Результаты испытаний позволяют рекомендовать сварочную проволоку Св-08Г2С-С вместо проволоки Св-08Г2С.