

Н. И. СЫРОМЯТНИКОВ, В. Н. КОРОЛЕВ, В. М. КУЛИКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВНЕШНЕГО ТЕПЛООБМЕНА В ПСЕВДООЖИЖЕННЫХ СРЕДАХ

(Представлено академиком В. А. Кириллиным 15 IV 1974)

В двухфазной теории (¹, ²) высокотемпературных процессов внешнего теплообмена в неоднородных псевдоожигенных средах высокая интенсивность процессов объясняется периодической сменой у поверхности теплообменника сплошных пакетов частиц и пузырей газа, структурно-гидродинамические параметры которых считаются постоянными и аналитическое решение задачи делается на основе закона Фурье.

В настоящей работе авторами использовалась новая комплексная методика определения плотности пристенного слоя, скорости потока газа и температуры поверхности по синхронным записям этих величин и по кадрам скоростной киносъемки процессов формирования пристенной зоны.

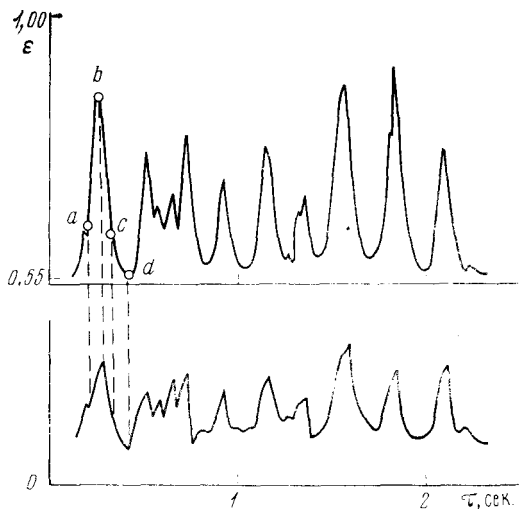


Рис. 1

Рис. 1. Осциллограммы пульсаций температуры t датчика и порозности ε пристенного слоя; шамот $d_r=0,32$ мм; $W=2$

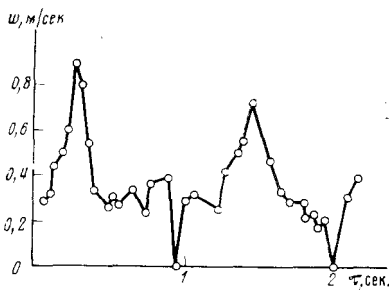


Рис. 2

Рис. 2. Изменение локальной скорости w потока газа вблизи поверхности для частиц шамота $d_r=0,32$ мм; $W=2$

В качестве элементарной теплоотдающей поверхности использовался плоский термоанемометрический датчик размером 2×25 мм² и толщиной 5 мкм, смонтированный в среднюю часть пластины, вертикально размещенной в псевдоожигенном слое.

Плотность прилегающего к датчику слоя измерялась с помощью рентгеновского луча высотой 2 мм и толщиной, равной одному диаметру частиц. Динамический напор, по которому, используя методику (³), рассчитывалась скорость потока, определялся щелевой пневмометрической трубкой специальной конструкции. Записывающим прибором служили осциллограф Н-700. Опыты проводились с различными материалами плотностью 1050–3912 кг/м³, размером частиц 0,12–2,20 мм, при числах псевдоожигения $W=1-8$.

Таблица 1

Относительное время f и частота Φ контактирования поверхности датчика с дисперсной средой (корунд $d_ч=0,12$ мм) различной порозности

ε	f					$\Phi, \text{сек}^{-1}$				
	$W=1$	$W=2$	$W=3$	$W=4$	$W=5$	$W=1$	$W=2$	$W=3$	$W=4$	$W=5$
0,55	0,09	0,03	0,02	0,01	0,01	1,8	0,6	0,4	0,2	0,2
0,55--0,60	0,27	0,15	0,08	0,12	0,14	3,3	2,8	2,4	2,5	2,2
0,60--0,65	0,32	0,25	0,24	0,22	0,21	5,8	5,0	4,4	4,4	4,4
0,65--0,70	0,13	0,15	0,20	0,225	0,19	5,1	6,2	5,8	5,2	5,1
0,70--0,75	0,09	0,135	0,10	0,11	0,15	3,3	5,6	5,8	5,7	5,4
0,75--0,80	0,07	0,12	0,12	0,09	0,13	1,4	4,2	4,7	4,4	4,4
0,80--0,85	0,02	0,08	0,12	0,08	0,08	0,7	2,7	3,4	3,7	2,6
0,85--0,90	0,005	0,06	0,07	0,10	0,06	0,2	1,2	1,6	2,6	1,4
0,90--0,95	0,005	0,02	0,04	0,04	0,025	0,1	0,3	0,9	1,0	0,5
0,95--1,00	0	0,005	0,01	0,005	0,005	0	0,1	0,2	0,2	0,1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Типичные осциллограммы пульсаций температуры датчика, плотности (порозности) слоя и кривая изменения скорости потока, а также некоторые значения пульсационных характеристик системы приводятся на рис. 1, 2 и в табл. 1.

Анализ полученных осциллограмм и кадров скоростной киносъемки показал, что в неоднородном псевдооживленном слое в результате динамического взаимодействия фаз с поверхностью образуется тонкая пристенная зона толщиной до $5 d_ч$, в пределах которой перемещающиеся вверх и вниз пакеты частиц разрушаются, границы между фазами размываются и макродискретность системы почти полностью исчезает.

Из рис. 1 и табл. 1 видно, что порозность в пристенной зоне, в отличие от ядра системы, изменяется непрерывно, а не периодически (пакеты частиц — пузыри газа), как это считается в двухфазной теории. Причем предельные состояния системы — порозность пузырей $\varepsilon=1$ и порозность пакетов $\varepsilon_{сф}=0,55$ — вблизи поверхности датчика практически не достигаются.

Этот новый экспериментальный факт, так же как и результаты исследования обтекания тел в псевдооживленном слое (⁴), позволяет сделать вывод о неправомерности применения закона Фурье для решения рассматриваемой задачи (^{1, 2}) и о прямой зависимости интенсивности нестационарного теплообмена от непрерывной флуктуации плотности системы и скорости пристенного потока газа, а также от изменения направления перемещения дисперсной системы вблизи поверхности.

Особенно отчетливо зависимость изменения температуры от флуктуации плотности просматривается на рис. 1, из которого видно, что повышение температуры датчика и, следовательно, снижение интенсивности теплообмена в период $a-b$ всегда связано с повышением порозности в этот период. В точке b порозность начинает уменьшаться и соответственно этому температура в период $b-c$ резко падает, а коэффициент теплоотдачи возрастает до максимального значения. В период $c-d$ температура поверхности и интенсивность теплообмена изменяются уже незначительно.

Структурно-гидродинамические характеристики пристенной зоны, определяющие механизм и интенсивность теплообмена, изменяются не только по времени, но и по поверхности тела.

В зависимости от формы тела и способа его размещения в псевдооживленном слое можно выделить три основные зоны: нижнюю, в которой преобладает конвективный теплообмен со слабымпыленным потоком; среднюю или экваториальную, где процесс наиболее близок к теплообмену в сквозных дисперсных потоках с повышенной плотностью и верхнюю, в которой тепло передается кондукцией к плотному слою частиц. Тогда сум-

марный коэффициент теплоотдачи

$$\bar{\alpha} = \sum_{i=1}^3 \frac{1}{F_i} \int_{F_i} \alpha dF,$$

где α и F_i — средний по времени коэффициент теплоотдачи и поверхность i -й зоны.

При таких сложных условиях практическое решение рассматриваемой задачи возможно лишь на основе теории моделирования физических явлений при условии наибольшего приближения модельных представлений к реальному процессу, что не соблюдается в ^(1, 2).

Более реальна в этом отношении комбинированная модель, в которой неоднородный псевдооживленный слой рассматривается как универсальная дисперсная система с переменными свойствами, усреднение и выбор определяющих параметров которой (в том числе и критерия нестационарности) должны производиться с учетом полученных характеристик и установленных закономерностей.

Уральский политехнический институт
им. С. М. Кирова
Свердловск

Поступило
11 IV 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ H. S. Mickley, D. F. Fairbanks, Am. Inst. Chem. Eng. J., v. 1, № 3, 374 (1955).
² R. Ernst, Chem. Ing. Techn., v. 31, № 3, 166 (1959). ³ В. Н. Королев, Н. И. Сыромятников, Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт, в. 6, 119 (1970). ⁴ В. Н. Королев, Н. И. Сыромятников, ДАН, т. 203, в. 1, 58 (1972).