

ЛИТЕРАТУРА

1. С е д н и н В.А. Движение твердого адсорбента в двухкомпонентном потоке // Научные и прикладные проблемы энергетики. — Минск, 1976. — Вып. 3. — С. 63–65.
2. С е д н и н В.А. Взаимодействие частиц дисперсного адсорбента двухфазного потока со стенками канала//Деп.: Библиограф. указ. ВИНТИ. М., 1978. — № 8. — С. 67. 3. С е д н и н В.А. Исследование аэродинамики дисперсного адсорбента в процессах тепловой регенерации: Дис. ... канд. техн. наук. — Минск, 1977. — 170 с. 4. С о м о в а С.В., Н е с е н ч у к А.П. Определение изостерической теплоты адсорбции синтетических цеолитов// Научные и прикладные проблемы энергетики. — Минск, 1978. — Вып. 5. — С. 34–43.
5. Ш а т о н Л.В. Тепломассоперенос в технологических установках при термической десорбции твердых сорбентов: Дис. ... канд.техн.наук. — Минск, 1982. — 241 с. 6. Н е с е н ч у к А.П., Ш а т о н Л.В., А н т о н и ш и н а Е.Н., Ш к л я р А.А. Расчет тепло- и массообмена при десорбции в термопсевдооживленном слое цеолита// Изв. вузов СССР. Энергетика. — 1983, — № 12. — С. 72–76. 7. Ш а т о н Л.В., Н е с е н ч у к А.П., А н т о н и ш и н а Е.Н. Исследование диффузии углекислоты в зернах цеолита СаА и МоА // Изв. вузов СССР. Энергетика. — 1982. — № 1. — С. 121–123. 8. Р о м а н ю к В.Н. Интенсификация процессов тепло- и массопереноса и снижение энергозатрат при тепловой регенерации дисперсного адсорбента в промышленных установках: Дис. ... канд.техн.наук. — Минск, 1980, — 324 с. 9. Н е с е н ч у к А.П., В а л у е в А.П., С е д н и н В.А. и др. Экспериментальное исследование внешнего теплообмена при регенерации цеолитов в термопсевдооживленном потоке. — Минск, 1984. — 14 с. — Деп. в ВИНТИ 26.12.84, № 8337-84.
10. Ч е р н ы ш е в и ч В.И. Экспериментальное исследование процесса регенерации синтетических цеолитов при поперечном омывании погруженной поверхности. — Минск, 1984. — 10 с. — Деп. в ВИНТИ 9.1.84, № 260-84.

УДК 536.5:621.643.001.5

Н.Г.ХУТСКАЯ, Ю.А.МАЛЕВИЧ,
канд-ты техн. наук (БПИ)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КАПЕЛЬ НА ТЕПЛОБМЕН В ДВУХФАЗНОМ ПОТОКЕ

Рассматривается течение двухфазной воздушно-водяной среды в горизонтальной трубе [1] при следующих условиях: $Re_{см} = 3 \cdot 10^3 - 6 \cdot 10^4$, объемной концентрации $c = 10^{-4}$; диаметре трубы $D = 2,3 \cdot 10^{-2}$ м, диаметре капли $a_k = 100 \cdot 10^{-6}$ м.

Важным параметром, характеризующим двухфазный поток в канале, является соотношение между размером капли и толщиной вязкого подслоя δ_l . Для оценки толщины ламинарного подслоя воспользуемся зависимостью для течения однородной жидкости [2] :

$$\delta_l/D = \frac{32,6}{Re_{см} \sqrt{0,0032 + 0,221 Re_{см}^{-0,237}}} \quad (1)$$

В формуле (1) коэффициент гидродинамического сопротивления определяется в соответствии с зависимостью Никурадзе для однофазного потока, справедливой в рассматриваемом диапазоне чисел Рейнольдса. Используя корреляцию (1), получаем формулу, которая характеризует соотношение диаметра капли и толщины вязкого подслоя:

Соотношение между толщиной ламинарного подслоя и диаметром капель в зависимости от числа Рейнольдса (2)

$Re_{см}$	$3 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	10^4	$1,1 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$
$\delta_{л}/d_{к}$	13,2	8,33	4,46	4,11	3,81	3,54
$Re_{см}$	$1,5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$
$\delta_{л}/d_{к}$	3,10	2,40	1,67	1,29	1,06	0,89

$$\delta_{л}/d_{к} = (D/d_{к}) \frac{32,6}{Re_{см} \sqrt{0,0032 + 0,221 Re_{см}^{-0,237}}} \quad (2)$$

Для рассматриваемых условий соотношения $\delta_{л}/d_{к}$ приведены в табл. 1.

Искажение потока каплями жидкости можно оценить по данным о возмущении вязкого подслоя бугорками шероховатости при течении однофазной среды в трубах. Анализ течения в шероховатых трубах [2] показывает, что влияние бугорков шероховатости начинает проявляться при $\delta_{л}/h \sim 4$ (в данном случае высота бугорка шероховатости h равна $d_{к}$). По табл. 1 определяется $Re_{см} \approx 1,15 \cdot 10^4$. Предельный режим, когда обтекание определяется только бугорками ($\delta_{л}/h < 0,16$), в рассматриваемых условиях не реализуется.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для течения двухфазной среды в трубе в исследуемом диапазоне чисел Рейнольдса существует два режима: 1) $Re_{см} \leq 1,15 \cdot 10^4$, когда влияние капель на вязкий подслон незначительно; 2) $Re_{см} \geq 1,15 \cdot 10^4$, когда влияние капель жидкости на вязкий подслон становится существенным. Следует отметить, что оценка этого значения числа Рейнольдса довольно условна. Переход от одного режима к другому с ростом Re должен осуществляться плавно, как и при течении в шероховатых трубах. Так как теплоперенос в значительной степени определяется наличием капель ($c_{рк} c_{рк} / \rho_{возд} c_{рвозд} = 0,4$), то должны существовать и два различных тепловых режима.

На рис. 1 [2] представлены типичные экспериментальные кривые сопро-

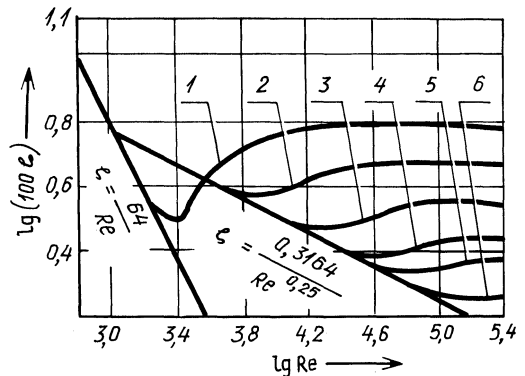


Рис. 1. Экспериментальные кривые сопротивления для труб с указанной зернистой шероховатостью [2]. На кривых за параметр принято значение R/h , обратное относительной шероховатости $R/h = 15-1$; $30,6-2$; $60,4-3$; $127,5-4$; $252,6-5$; $507-6$.

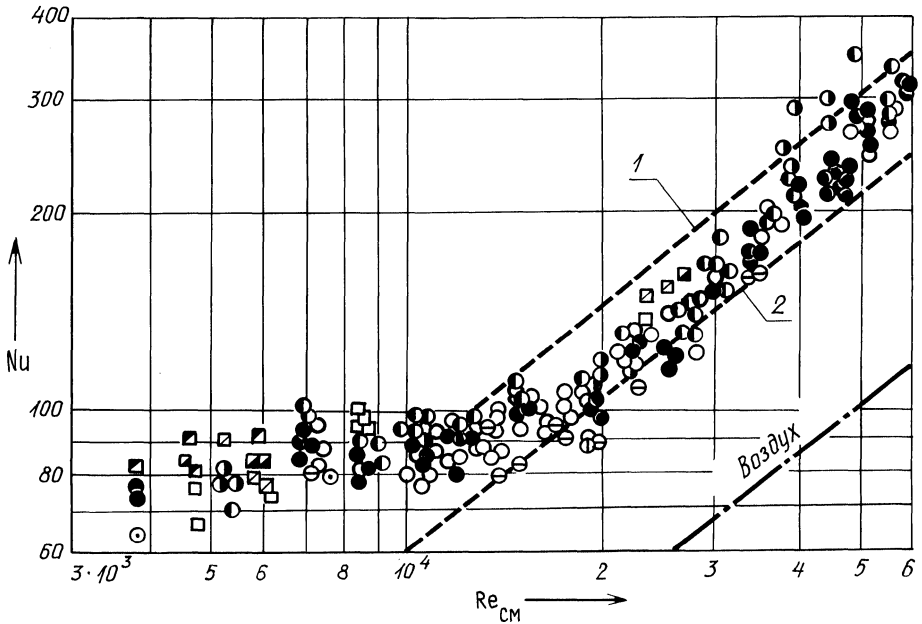


Рис. 2. Зависимость безразмерного коэффициента теплоотдачи от числа Re_{CM} для течения воздушно-водяной смеси в трубе:

1 – расчетная зависимость (3) для массового влагосодержания 0,1; 2 – для массового влагосодержания 0,01.

тивления для труб с указанной зернистой шероховатостью. Из рисунка видно, что для рассматриваемых условий существуют два гидродинамических режима: переходный, не зависящий от относительной шероховатости, и турбулентный. В последнем можно выделить две области: первая соответствует течению в гладких трубах, во второй проявляется влияние бугорков шероховатости. В заданных условиях переход из первой области турбулентного течения во вторую происходит при $Re_{CM} \approx 1,8 \cdot 10^4$ ($\lg Re \approx 4,25$ – рис. 1, кривая 4). Следовательно, в области $Re_{CM} \approx (1,15-1,8) \cdot 10^4$ возможна смена тепловых режимов.

Данное предположение подтверждается при сравнении рассматриваемого двухфазного потока с течением однофазной среды в шероховатых трубах [3], где $d_K = h$.

$$Nu = 0,022 Re_{CM}^{0,8} Pr_{CM}^{0,47} \epsilon_{III} \quad (3)$$

где $\epsilon_{III} = f(h, S)$ [3].

Расстояние между бугорками шероховатости

$$S = 2r_K (\rho_K / \rho_{возд} c)^{1/3}.$$

Критерий Pr_{CM} в зависимости (3) определяется с учетом изобарной теплоемкости смеси [4]. При расчете коэффициентов теплоотдачи в воздушно-

нодном потоке по зависимости (3) получено удовлетворительное совпадение (максимальное отклонение не превышает 25 %) с экспериментальными данными [1] (рис. 2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанчук В.Ф., Хутская Н.Г. Экспериментальное исследование теплообмена при течении воздушно-водяного потока в трубе // Изв. АН БССР. Сер. физ.-энерг. наук. – 1981. – № 3. – С. 70–73. 2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: 1978. – 736 с. 3. Гомелаури В.И. // Тр. ин-та физики АН ГрузССР. – 1963. – Т. 9. – С. 3–30. 4. Степанчук В.Ф., Хутская Н.Г. Изобарная теплоемкость системы воздух–капли воды // Изв. АН БССР. Сер. физ.-энерг. наук. – 1980. – № 1. – С. 127–130.

УДК 621.78.536.212

В.И.ТИМОШПОЛЬСКИЙ, канд.техн.наук
(БПИ)

ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА НАГРЕВА МАССИВНЫХ ТЕЛ ИЗЛУЧЕНИЕМ

В настоящее время совершенствуются и модернизируются методы расчета массивных тел применительно к условиям теплообмена излучением (процессы нагрева и термообработки).

В предлагаемой работе рассматриваются новые численно-аналитические выражения, которые позволяют с удовлетворительной точностью и быстротой выполнять расчеты для инженерной интерпретации процесса распространения тепла в массивных телах.

Для исходного уравнения теплопроводности

$$-\frac{1}{\xi^m} \cdot \frac{\partial}{\partial \xi} \left[\xi^m (1 + \xi_\lambda \theta) \frac{\partial \theta}{\partial \xi} \right] = (1 + \epsilon_c \theta) \frac{\partial \theta}{\partial F_0} \quad (1)$$

рассмотрим три случая нагрева массивных тел:

- 1) радиационно-конвективный $\lambda = \lambda(T)$; $C = C(T)$;
- 2) лучистый и лучисто-конвективный нагрев полых тел;
- 3) несимметричный нагрев плиты или сферы.

В (1) безразмерные переменные обозначают:

$\xi = x/X$ – координата; $\theta = \frac{T(x, \tau)}{T_c}$; $\epsilon_c = \delta_c / C_v^0 T_c$; $\epsilon_\lambda = \delta_\lambda / \lambda_0 T_c$; m – коэффициент формы ($m = 0$ – плита; $m = 1$ – цилиндр; $m = 2$ – сфера)

$$\lambda(T) = \lambda_0 + \delta_\lambda T; \quad C_v(T) = C_v^0 + \delta_c T.$$

В качестве математического аппарата для реализации рассмотренных задач используется метод эквивалентных источников в сочетании с принятой в теории нагрева схемой термического слоя.

Рассмотрим радиационно-конвективный нагрев.