

8. Krishna V. G., J. Chem. Phys., **50**, 792 (1969).
9. Long C. A., Ewing G. E., Chem. Phys. Letters, **9**, 225 (1971).
10. Локтев В. М., Петров Э. Г., ФТТ, **12**, 3010 (1970).
11. Gray E. W., Ogryzlo E. A., Chem. Phys. Letters, **3**, 658 (1969).
12. Findlay F. D., Canad. J. Phys., **48**, 2107 (1970).
13. Akimoto H., Pitts J. N., J. Chem. Phys., **53**, 1312 (1970).
14. Сильдос И., Лыхмус А., Ребане Л., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., **21**, 121 (1972).
15. Павлошук В. А., Шанский Л. И., УФЖ, **16**, 1215 (1971).

Институт физики и астрономии  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
27/III 1972

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. 21. KÕIDE  
FOÜSIKA \* МАТЕМАТИКА. 1972, NR. 3

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ТОМ 21  
ФИЗИКА \* МАТЕМАТИКА. 1972, № 3

<https://doi.org/10.3176/phys.math.1972.3.21>

УДК 536.244 : 621.181.8

А. ВЕСКИ, И. МИКК

## ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА ТРУБ В ШИРМЕ НА КОНВЕКТИВНУЮ ТЕПЛОТДАЧУ

A. VESKI, I. MIKK. SIRMİ TORUDE ARVU MOJU KONVEKTIIVSELE SOOJUSÜLEKANDELE  
A. VESKI, I. MIKK. THE EFFECT OF NUMBER OF TUBES IN TUBE PLATES ON CONVECTIVE HEAT TRANSFER

Ширмы являются широко распространенным видом поверхностей нагрева мощных парогенераторов. Главными конструктивными особенностями ширм по сравнению с коридорными трубными пучками являются большой поперечный шаг  $s_1$  между ширмами и близкий к единице относительный межтрубный шаг  $s_2/d$  в ширме. Ширмы располагаются обычно в зоне поворота газов, поэтому обтекание их может происходить при разных углах атаки  $\beta$ . Эти конструктивные особенности вызывают, в свою очередь, ряд особенностей и в механизме конвективной теплоотдачи ширм.

Нами проведено экспериментальное исследование теплоотдачи от 1-й до 12-й (иногда до 16-й) трубы модели ширмы при разных межтрубных шагах и углах атаки (см. рис. 1), когда газовый поток в общем параллелен поверхности модели ширмы. В [1] была описана опытная методика и приведены графики опытных данных по средней теплоотдаче от 7-й до 11-й трубы. При углах атаки более  $30^\circ$  была обнаружена зависимость коэффициента конвективной теплоотдачи от порядкового номера трубы.

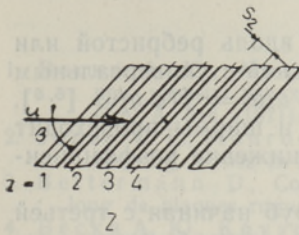


Рис. 1. Схема ширмы.

Эта зависимость при  $Re = 10^4$  представлена на рис. 2, где теплоотдача разных труб дана в отношении к теплоотдаче 9-й трубы. Как видно, в логарифмических координатах эта зависимость аппроксимируется прямыми, наклон которых уменьшается с увеличением шага.

На рис. 3 представлена теплоотдача ширмы по нашим данным и по данным работы [2], а также теплоотдача ребристой пластины по данным [3] в зависимости от порядкового номера трубы или ребра. Теплоотдача ширмовых труб и локальная теплоотдача пластины дается в отношении к теплоотдаче 4-й трубы или к локальной теплоотдаче в

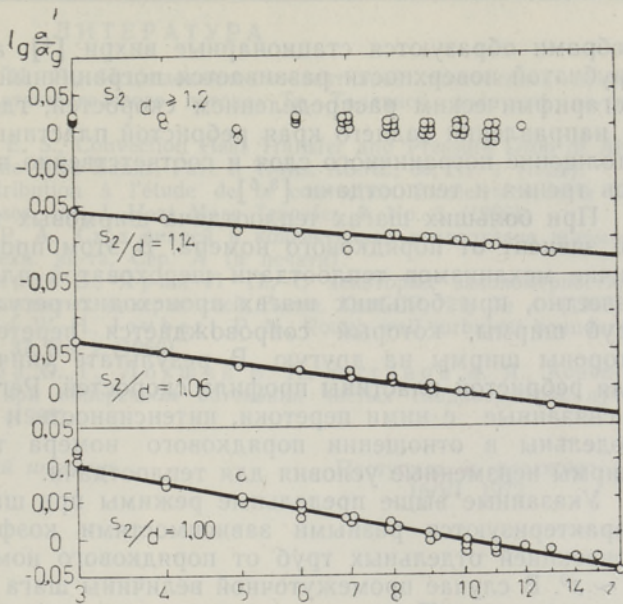
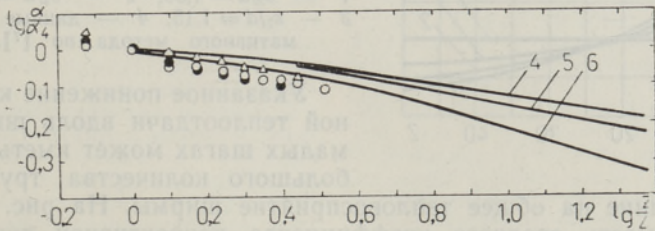
Рис. 2. Зависимость коэффициента конвективной теплоотдачи от порядкового номера трубы при  $Re = 10^4$ .

Рис. 3. Изменение теплоотдачи вдоль ширмы и ребристой пластины. 1, 2 — наши данные: 1 —  $s_2/d = 1,06$  ( $Re = 8400$ ,  $\beta = 32^\circ$ ), 2 —  $s_2/d = 1,00$  ( $Re = 4500$ ;  $\beta = 47,5^\circ$ ); 3 — данные по [2],  $s_2/d = 1,00$  ( $Re = 10\,700$  и  $19\,000$ ); 4—6 — данные по [3] ( $u = 30$  м/с,  $k = 3$  мм); 4 —  $D/k = 3,3$ ; 5 —  $D/k = 2,7$ ; 6 —  $D/k = 4,16$ .  $\circ$  — 1,  $\triangle$  — 2,  $\bullet$  — 3 — ширма, 4, 5, 6 — пластина.

сечении оси 4-го ребра; соответственно порядковые номера труб и ребер разделены на 4. Нанесенные на рисунке данные показывают, что зависимости теплоотдачи пластины и ширмы от продольной координаты в направлении движения потока близки друг другу — в степени от  $-0,15$  до  $-0,25$ .

Аналогия в зависимости от продольной координаты теплоотдачи ширм при маленьких шагах и ребристых пластин вызвана одинаковым механизмом обтекания поверхностей в обоих случаях. За трубами и

ребрами образуются стационарные вихри [4], а вдоль ребристой или трубчатой поверхности развивается пограничный слой с универсальным логарифмическим распределением скоростей, где  $u/u_* = f(u_*y/\nu)$  [5, 6]. В направлении заднего края ребристой пластины и ширмы происходит утолщение пограничного слоя и соответственно понижение коэффициентов трения и теплоотдачи [3, 5].

При больших шагах теплоотдача ширмовых труб начиная с третьей не зависит от порядкового номера. В этом проявляется большое различие механизмов теплоотдачи шероховатой пластины и ширмы. Как известно, при больших шагах происходит регулярный срыв вихрей с труб ширмы, который сопровождается перетеканием газа с одной стороны ширмы на другую. В результате уничтожается характерный для ребристой пластины профиль скоростей. Регулярные срывы вихрей и связанные с ними перетоки, интенсивность и частота которых автомодельны в отношении порядкового номера трубы, создают вдоль ширмы неизменные условия для теплоотдачи.

Указанные выше предельные режимы при шагах  $s_2/d = 1,00$  и  $1,25$  характеризуются разными зависимостями коэффициента теплоотдачи конвекцией отдельных труб от порядкового номера трубы  $\alpha \sim z^{-0,2}$  и  $\alpha \sim z^0$ . В случае промежуточной величины шага имеем дело с переходным режимом. По нашим опытным данным (рис. 2) можно отношение  $C_z$  теплоотдачи трубы с порядковым номером  $z$  к теплоотдаче 9-й трубы выразить следующей зависимостью:

$$C_z = (z/9)^{0,74s_2/d - 0,94}.$$

Формула действительна при  $3 \leq z \leq Z - 1$  и  $s_2/d \leq 1,25$ .

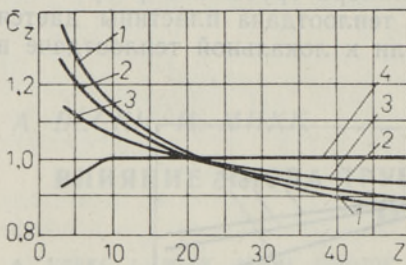


Рис. 4. Отношение  $\bar{C}_z$  среднего  $\alpha$  ширмы к  $\alpha$  9-й трубы в зависимости от количества труб в ширме ( $Re = 10^4$ ).

1 —  $s_2/d = 1,00$ ; 2 —  $s_2/d = 1,06$ ; 3 —  $s_2/d = 1,15$ ; 4 — данные нормативного метода по [7].

Указанное понижение конвективной теплоотдачи вдоль ширмы при малых шагах может иметь в случае большого количества труб значительное влияние на общее тепловосприятие ширмы. На рис. 4 приведена зависимость среднего коэффициента конвективной теплоотдачи ширмы  $\bar{\alpha}$  от количества труб в ширме. Так как данные нашей предыдущей работы [1] применимы для расчета теплоотдачи 9-й трубы ширмы, то здесь  $\bar{\alpha}$  ширмы взят в отношении к  $\alpha$  9-й трубы. Отношение  $\bar{C}_z$  среднего  $\bar{\alpha}$  ширмы к  $\alpha$  9-й трубы получено среднеарифметическим осреднением  $C_z$  по всем трубам.

#### Обозначения

$s_1$  — шаг ширмы;  $s_2$  — шаг труб в ширме;  $d$  — диаметр труб;  $D$  — шаг ребер;  $k$  — высота ребер;  $\beta$  — угол атаки;  $z$  — порядковый номер трубы;  $Z$  — количество труб в ширме;  $Re = ud/\nu$  — число Рейнольдса;  $u$  — скорость рядом с ширмой;  $\nu$  — коэффициент кинематической вязкости;  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи конвекцией;  $u_*$  — скорость касательного напряжения;  $y$  — координата, перпендикулярная плоскости ширмы или пластины.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вески А. Ю., Микк И. Р., Исследование конвективной теплоотдачи ширм при разных углах атаки газового потока, Тр. Таллинск. политехн. ин-та, Сер. А, **316** (1971).
2. Jones C. E., Monroe E. S., Convection Heat Transfer and Pressure Drop of Air Flowing Across In-Line Tube Banks, Part I, Trans. ASME, **80**, Nr. 1 (1958).
3. Bettermann D., Contribution à l'étude de la convection forcée turbulente le long de plaques rugueuses, Int. J. Heat Mass Transfer, **9**, No. 3 (1966).
4. Вески А. Ю., Круус Р. А., Сход вихрей и конвективная теплоотдача ширмы, Тр. Таллинск. политехн. ин-та, Сер. А (в печати).
5. Алияров Б. К., Сакипов З., Ярин Л. П., О некоторых закономерностях обтекания макрошероховатых поверхностей, Вестн. КазССР, **21**, № 4 (1965).
6. Perry A. E., Schofield W. H., Joubert P. N., Rough wall turbulent boundary layers, J. Fluid Mech., **37**, No. 2 (1969).
7. Мочан С. И., Ревзина О. Г., Локшин В. А., Антонов А. Я., Конвективный теплообмен при поперечном обтекании чистых гладкотрубных пучков, Тр. ЦКТИ, **82** (1968).

Таллинский политехнический институт

Поступила в редакцию  
16/VI 1972