

О.С.БАЛАБЕКОВ, А.А.ЕШАНКУЛОВ,
Н.С.БЕКИБАЕВ, А.А.ВОЛНЕНКО, Л.И.РАМАТУЛЛАЕВА

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В ТРУБАХ С ПОПЕРЕЧНО КОЛЬЦЕВЫМИ ВЫСТУПАМИ ПРИ НИЗКИХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА

Для создания компактных теплообменников необходимо не только интенсифицировать теплообмен в межтрубном пространстве с помощью различного рода турбулизаторов, но и применять тесные пучки труб. Применение наружного оребрения увеличивает размеры трубок и препятствует созданию тесных трубных пучков, а использование тесных пучков мешает наружному оребрению трубок и делает его малоэффективным из-за большого роста гидравлического сопротивления пучка. Поэтому было бы весьма перспективным осуществить такой способ интенсификации теплообмена при продольном омывании пучков труб, который бы не увеличивал наружного диаметра трубок, т.е. позволил бы применить эти трубки в тесных пучках.

Этому требованию удовлетворяет применение трубок с кольцевыми поперечными канавками, изготовленными накаткой. Образующиеся на наружной поверхности трубок углубления способ-

ствуют турбулизации пристеночного слоя и интенсификации теплообмена. Данный способ интенсификации теплообмена имеет следующие основные преимущества по сравнению с другими способами при наружном омывании трубы: применим в тесных пучках труб, так как не увеличивает наружного диаметра трубок; образование внутри диафрагмы после накатки снаружи кольцевых канавок существенно интенсифицирует теплообмен в трубе; технологически осуществляется несложно; применим при больших плотностях тепловых потоков; позволяет не изменять существующую технологию сборки трубчатых теплообменных аппаратов [1].

Экспериментальное исследование теплообмена и гидродинамики выполнены при неизотермическом течении вязкого теплоносителя в трубах с поперечными кольцевыми выступами четырех типов в интервале изменения чисел $Re_m = 80 \dots 1260$; $Pr_m = 218 \dots 295$; $Ra_m = 1 \ 280 \ 000 \dots 1$

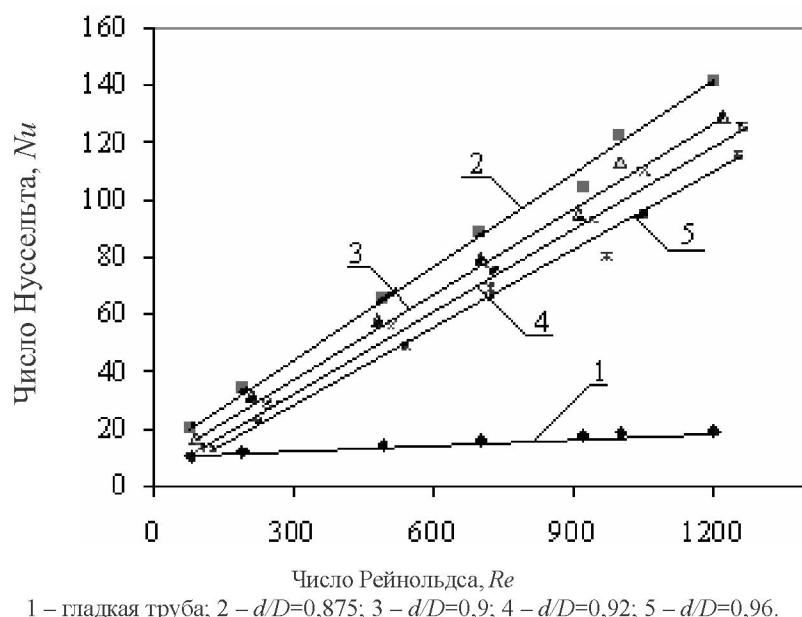


Рис. 1. Зависимость числа Нуссельта от числа Рейнольдса для труб с диафрагмами.

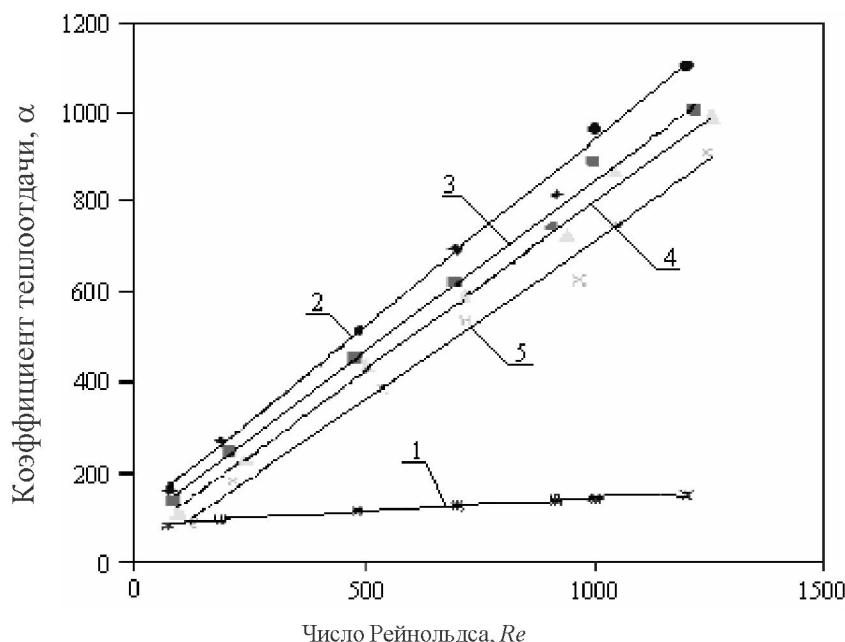


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи от числа Рейнольдса для труб с диафрагмами.

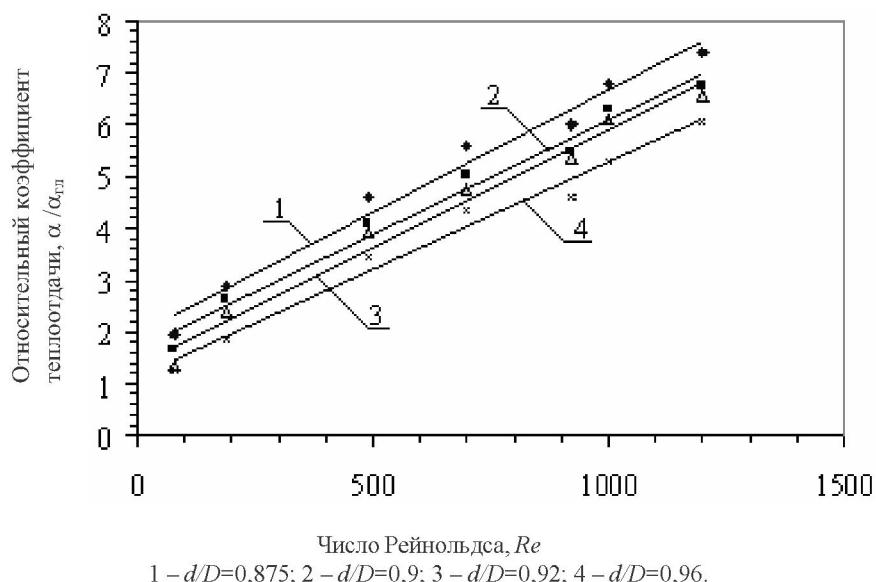


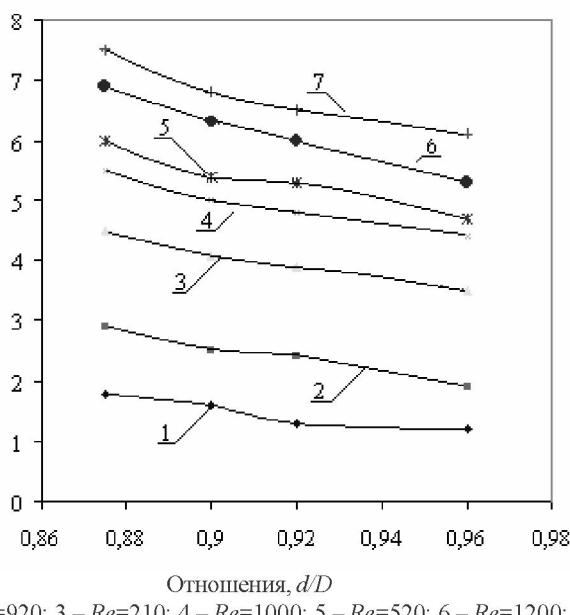
Рис. 3. Зависимость относительного коэффициента теплоотдачи от числа Рейнольдса

500 000. Температура вязкого теплоносителя на входе - 50...60°C, на выходе 44,3...52,4°C.

Рабочие элементы характеризуются следующими безразмерными параметрами для трубы №1- $d/D=0,96$; $h/d_3=0,036$; №2- $d/D=0,92$; $h/d_3=0,072$; №3- $d/D=0,9$; $h/d_3=0,091$; №4- $d/D=0,875$; $h/d_3=0,114$. Для всех 4 труб отношение $t/D=0,8$ и $t/d_3=1,09$ оставалось постоянным. Здесь d – диаметр отверстия D – внутренний диаметр трубы; h – вы-

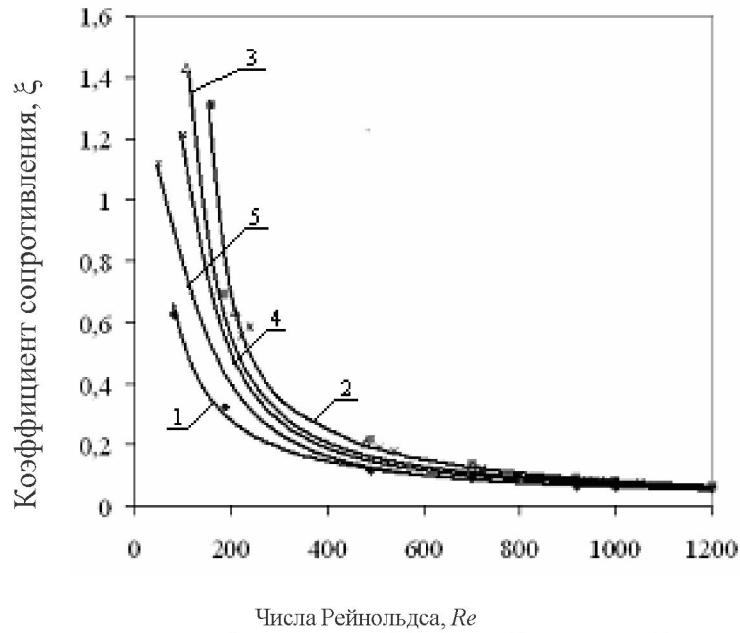
сота диафрагм; d_3 – эквивалентный диаметр кольцевого канала; t – расстояние между диафрагмами и канавками.

Неизотермичность достигалась путем отвода тепла при температуре воды $t_b = \text{const}$ от вязкого теплоносителя в диапазоне изменения температуры стенки $t_c = 25,8...51,1^\circ\text{C}$. При этом значения коэффициентов теплоотдачи α и коэффициентов сопротивления R колебались для трубы №1



1 – $Re=120$; 2 – $Re=920$; 3 – $Re=210$; 4 – $Re=1000$; 5 – $Re=520$; 6 – $Re=1200$; 7 – $Re=680$.

Рис. 4. Влияние высоты диафрагм на интенсивность теплообмена в круглых трубах на вязком теплоносителе



1 – гладкая труба; 2 – $d/D=0,875$; 3 – $d/D=0,9$; 4 – $d/D=0,92$; 5 – $d/D=0,96$.
Рис. 5. Сопротивление при течении вязкого теплоносителя в трубах с диафрагмами

соответственно от 81 до 906 Вт/(м²°C) и от 1,118 до 0,058; для №2 от 108 до 980 Вт/(м²°C) и от 1,213 до 0,061; для №3 от 132 до 1004 Вт/(м²°C) и от 1,319 до 0,063; для №4 от 156 до 1102 Вт/(м²°C) и от 1,47 до 0,065.

На рисунках 1, 2 представлены результаты полученных опытных данных осредненной по длине трубы теплоотдачи для накатанной и гладкой трубы в зависимости от числа Re .

Во всем исследованном диапазоне чисел Re есть тенденция к существенному изменению закона теплоотдачи с ростом Re . Это наглядно видно из рисунка 3.

Эффект интенсификации $\alpha / \alpha_{\text{аг}}$ увеличивается с ростом числа Рейнольдса. Однако в наших опытах не наблюдается зона неустойчивого теплообмена, отмеченная в работе [2], в которой при одном и том же значении числа

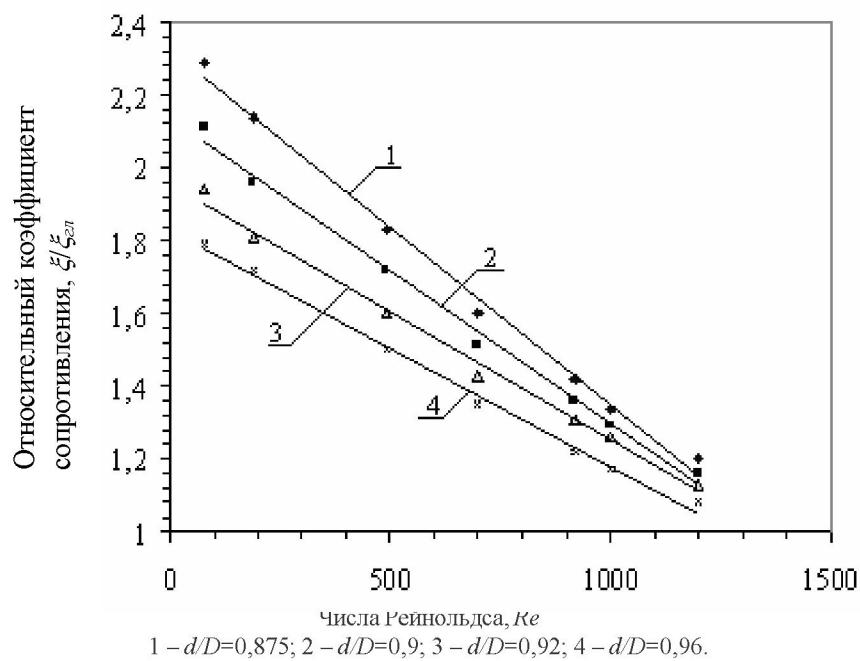


Рис. 6. Зависимость относительного коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса

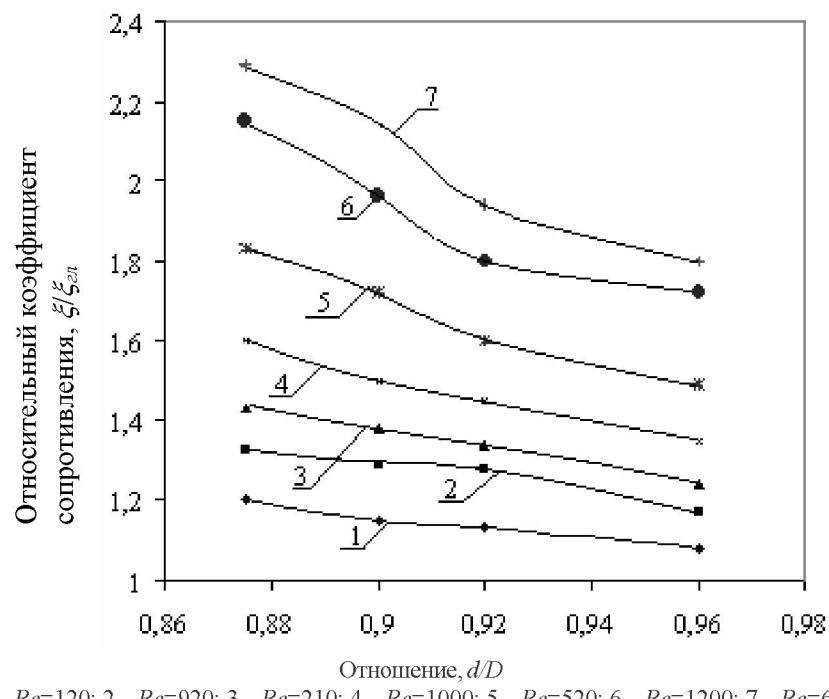


Рис. 7. Влияние высоты диафрагм на коэффициент гидравлического сопротивления на вязком теплоносителе

$Re=300$ колебания интенсивности теплообмена достигают 1,7 - 5,5.

Характерно так же, что при прочих равных условиях (числа Re, Pr , шаг и форма выступа) существенное влияние на характер зависимости $Nu=f(Re)$ имеет высота интенсификаторов.

На рисунке 4 показаны опытные данные, полученные нами на вязком теплоносителе в трубах с одинаковым шагом диафрагм, но при разных высотах. Из графика видно, что увеличение высоты диафрагм $d/D < 0,96$ сопровождается изменением закона теплообмена при $Re < Re_{\text{кр}(тл)}$:

если при $d/D=0,96$ $\alpha/\alpha_{\text{пл}}=1,26$, то при $d/D<0,96$ $\alpha/\alpha_{\text{пл}}$ заметно увеличивается с ростом числа Re .

Отметим еще одно существенное обстоятельство. Так как с уменьшением числа Re термическое сопротивление потока сосредотачивается во все более толстых пристенных слоях, очевидно, наилучшие эффекты интенсификации теплоотдачи при низких числах Рейнольдса ($Re < Re_{\text{кр}}$) достигаются при больших высотах диафрагм в отличие от области развитой турбулентности. Это вполне естественно: если высота диафрагмы одинакова с толщиной пристеночного слоя, в котором сосредоточено основное термическое сопротивление, то это приводит к турбулизации потока в этом слое. Поэтому увеличиваются теплоотдача и гидравлическое сопротивление.

Обработка экспериментальных данных по теплообмену позволяет рекомендовать для практических расчетов в области $Re=80\dots1260$ зависимость

$$\frac{\alpha}{\alpha_{\text{пл}}} = \left(3,2 - 3,4 \frac{d}{D} + 10^{64d/D-62} \right) x$$

$$x = \frac{2,2 \left(\frac{d/D-1,5+7 \cdot 10^{-2}}{100 \cdot \exp(65 \cdot (0,92-d/D)) + \exp(65 \cdot (d/D-0,92))} \right)^{7 \cdot 10^{-2}}}{Re}$$

Здесь уместно остановиться на вопросе о течении жидкости в трубах с диафрагмами. В какой степени наличие диафрагмы может влиять на закон сопротивления, иллюстрирует рисунок 5, на котором представлена зависимость $\alpha=f(Re)$.

Отчетливо видно, что и для труб с диафрагмами коэффициент сопротивления заметно падает с ростом Re , при этом величина $\xi/\xi_{\text{пл}}$ возрастает

с уменьшением числа Re (рисунок 6). Коэффициент гидравлического сопротивления непрерывно увеличивается с ростом высоты выступов (рисунок 7).

Из графиков отчетливо видно, что дискретная шероховатость в виде диафрагм перспективна для интенсификации теплоотдачи, так как в ней увеличение теплообмена опережает увеличение коэффициента сопротивления.

Таким образом, сопоставление коэффициентов теплоотдачи для гладких и накатанных труб при идентичных режимах и конструктивных параметрах показывает, что наличие диафрагм значительно интенсифицирует процесс теплообмена при использовании различных теплоносителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интенсификация теплообмена в каналах /Э.К.Калинин, Г.А.Дрейцер, С.А.Ярхо. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 208с.

2. Конахин А.М., Кумиров Б.А. Опытное исследование теплообмена и гидродинамики в трубах с кольцевыми выступами при неизотермическом течении жидкости при малых числах Рейнольдса //Сб. науч. тр. МЭИ. 1988, №177. – С.57-62.

Резюме

Үқас режимдегі бурленген және тегіс құбыр үшін жылу беру коэффициентін орнына қою, сондай-ақ конструктивті параметрлері әртүрлі жылу тасымалдағыштарды қолдануда диафрагманың болуы жылуалмасу процесін айтартықтай карқыннататынын көрсетті.

Summary

Comparison of heat transfer coefficients for plain and milled pipe at identical modes and constructive parameters shows that presence of diaphragms considerably intensifies the heat exchange process while using various heat carriers.

УДК 66.123.237.

Южно-Казахстанский
Государственный Университет
им. М.Ауезова

Поступила 10.09.09 г.