

Гидравлические сопротивления при продольном обтекании пучков гладких и оребренных стержней

В. И. СУББОТИН, Б. Н. ГАБРИАНОВИЧ, А. В. ШЕЙНИНА

УДК 621.039.5/6

Настоящая работа посвящена исследованию гидравлических сопротивлений в пучках стержней. В работе [1] проведен анализ данных по измерению коэффициентов трения в пучках гладких труб. При рассмотрении результатов опытов было замечено, что форма обечайки оказывает влияние на гидравлическое сопротивление пучков труб. Было высказано мнение, что пучки труб, имеющих обечайку с фигурными вытеснителями, имеют большее сопротивление, чем пучки труб, окруженные плоской шестигранной обечайкой (при $S/d = idem$). Замечено также, что различие гидравлических сопротивлений для этих двух типов пучков возрастает с увеличением шага пучка.

Для исследования влияния формы обечайки на коэффициенты трения пучков труб проведены опыты на пучках труб с шагом $S/d = 1,5$. Измерения коэффициентов трения проводили на четырех рабочих участках, на которых использовали одни и те же решетки, стержни и трубки. В моделях заменяли обечайку и число стержней. Размеры обечайки выбирали таким образом, чтобы обеспечить равенство гидравлических диаметров модели и «бесконечной» ячейки ($d_r = d_{r\infty}$). Максимальное различие d_r и $d_{r\infty}$ составляло $\sim 8\%$.

Опыты проводили по общепринятой методике на гидравлическом стенде. Предельная относительная ошибка в измерении коэффициентов гидравлического сопротивления составляла 7—10%.

Как видно из рис. 1, различие коэффициентов трения для исследованных пучков с шагом $S/d = 1,5$ находится в пределах точности эксперимента. Эксперименты, проведенные на четырех пучках с шагом $S/d = 1,5$, имеющих обечайки различной формы, показали, что форма обечайки слабо влияет на величину коэффициента трения раздвинутого пучка, когда размеры и форма обечайки выбраны так, что

$d_r \approx d_{r\infty}$. Замеченное ранее [1] различие коэффициентов трения для пучков труб с фигурными вытеснителями и шестигранной плоской обечайкой, по-видимому, было вызвано тем, что при анализе экспериментальных данных использовались результаты работ [2—4], которые, как показали более поздние исследования, являются завышенными. В этих работах опыты проводились на моделях с фигурными вытеснителями.

В результате анализа экспериментальных данных получена эмпирическая формула для расчета коэффициентов трения в пучках гладких стержней с шагом треугольной решетки $1 < S/d < 1,5$ при турбулентном течении жидкости:

$$\lambda/\lambda_0 = 0,6 + 0,6(S/d - 1)^{0,2} \quad (1)$$

Эта зависимость хорошо аппроксимирует результаты настоящей работы и с точностью $\pm 40\%$ описывает большинство рассмотренных экспериментальных данных других авторов.

В настоящее время наиболее распространенным способом дистанционирования стержней является спиральное оребрение. При навивке дистанционирующих ребер на поверхность стержня высота ребер равна минимальному зазору между стержнями ($S - d$) или половине этого зазора ($\frac{S-d}{2}$). В первом случае происходит

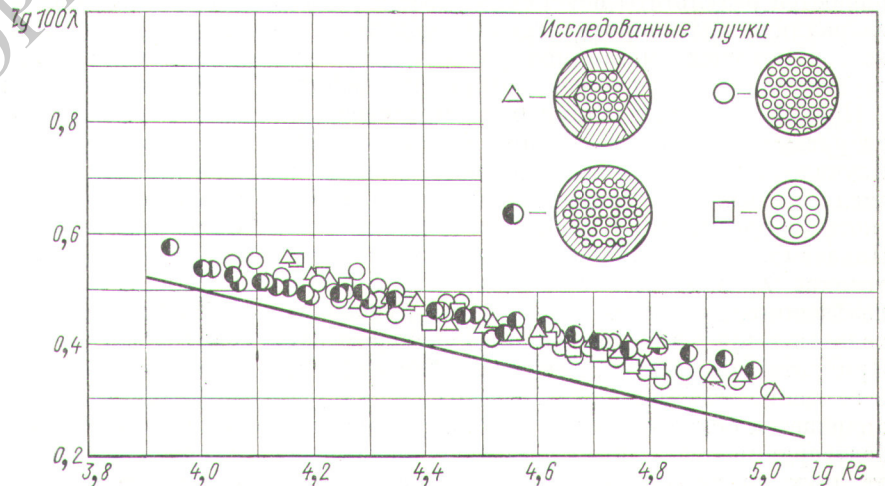


Рис. 1. Коэффициенты трения для пучков гладких стержней с шагом $S/d = 1,5$. Прямая — расчет по формуле Блазиуса ($\lambda_0 = 0,316 Re^{-0,25}$).

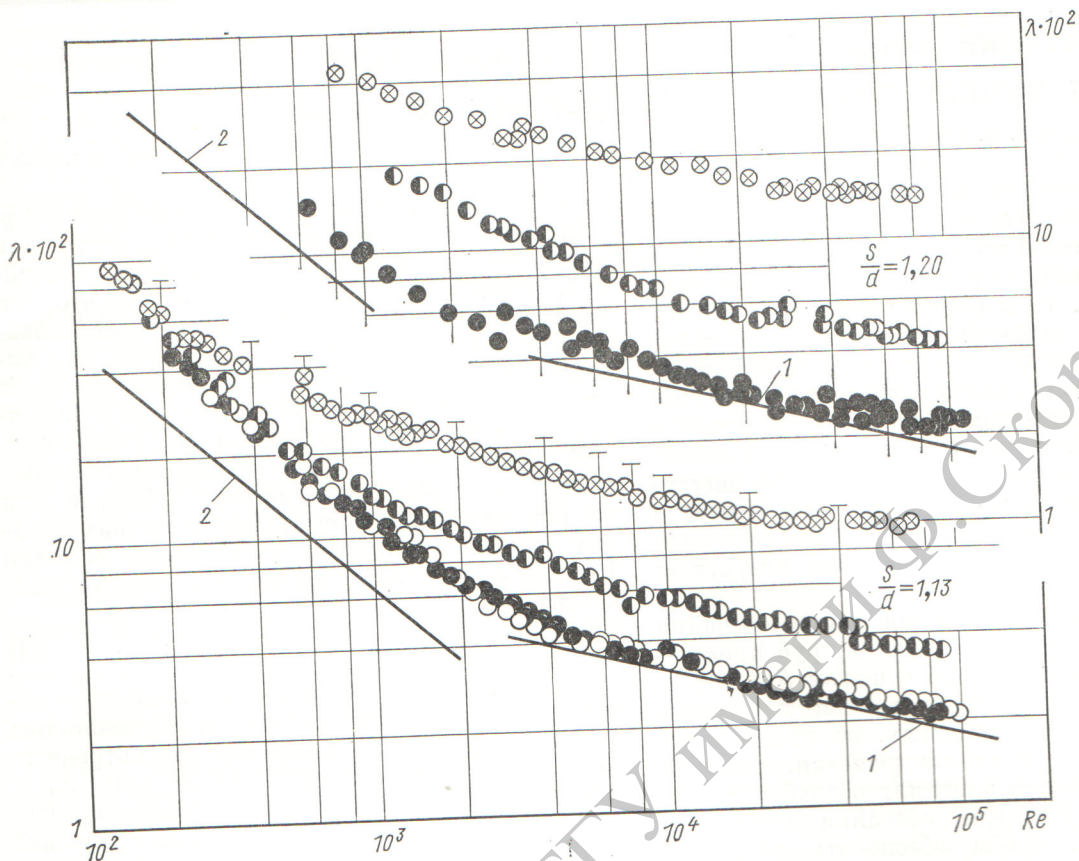


Рис. 2. Коэффициенты гидравлических сопротивлений для ребристых пучков:

○ — без ребер; ● — $T/d = 21,4$; ⊕ — $T/d = 10$; ⊗ — $T/d = 5$.

касание «ребро по оболочке», во втором — «ребро по ребру». В настоящей работе рассматриваются результаты измерений коэффициентов гидравлических сопротивлений ребристых пучков, в которых дистанционирование стержней осуществляется касанием «ребро по ребру».

Подробные исследования были проведены на ребристых пучках с шагом $S/d = 1,05$ [1]. Изучалось влияние шага навивки ребер и их числа на величину коэффициента гидравлического сопротивления ребристого пучка (λ_p). Показано, что для пучков с шагом $S/d = 1,05$ отличие λ_p при шагах навивки $T/d > 20$ от коэффициентов трения для гладких пучков находится в пределах погрешности эксперимента. При уменьшении шага навивки ребер от 20 до 5 значение коэффициентов сопротивления увеличивается более чем в два раза. Эксперименты подтвердили также, что увеличение числа ребер от двух до четырех (при $20 \leq T/d \leq 100$) не влияет на величину коэффициентов гидравлического сопротивления.

В настоящей работе были продолжены начатые ранее [1] систематические исследования гидравлических сопротивлений ребристых пучков. Проведены измерения коэффициентов гидравлического сопротивления в пучках стержней с шагом треугольной решетки 1,13 и 1,20 при шагах навивки ребер 21,4; 10 и 5 (рис. 2). На этом же рисунке для сравнения приведены прямые для круглых труб: прямая 1, рассчитанная по формуле Блазиуса, и прямая 2, рассчитанная по формуле

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2)$$

Из рисунка следует, что коэффициенты гидравлического сопротивления для ребристого пучка с шагом $S/d = 1,13$ и навивкой ребер $T/d = 21,4$ при турбулентном режиме течения жидкости ($Re > 10^4$) практически совпадают с коэффициентами трения для гладкого пучка с тем же шагом S/d . Для пучка с $T/d = 10$ отношение $\lambda_p/\lambda \approx 1,8$, для $T/d = 5$ коэффициенты сопротивления пучка с ребристыми тру-

бками больше, чем для пучка с гладкими трубками, примерно в четыре раза.

Из результатов опытов были определены приближенные критические числа Рейнольдса для исследованных пучков с шагом $S/d = 1,13$, равные примерно 800, 500 и 200 для T/d , равных 21,4; 10 и 5 соответственно. Переход от ламинарного к турбулентному режиму течения в пучке с трубками без ребер и с ребрами при $T/d = 21,4$ начинается при одинаковом критическом числе Рейнольдса ($Re_{кр} \approx 800$). Это свидетельствует о том, что ребра с шагом навивки более 20 слабо турбулизируют поток жидкости.

Для расчета коэффициентов трения в пучках ребристых труб с $S/d = 1,13$ при ламинарном режиме течения жидкости получена эмпирическая зависимость

$$(\lambda_p/\lambda)_{л} = 1 + \frac{1,7}{T/d} \quad (3)$$

Для пучков труб с шагом $S/d = 1,2$ опыты проводили в переходной и турбулентной областях течения жидкости (см. рис. 2). Как и для пучка с шагом $S/d = 1,13$, при большом шаге навивки ребер ($T/d = 21,4$) влияние ребер на коэффициенты гидравлического сопротивления в турбулентной области течения жидкости не существенно и находится в пределах точности эксперимента. С уменьшением шага навивки ребер коэффициенты гидравлического сопротивления ребристого пучка ($S/d = 1,2$) увеличиваются. В этом случае увеличение коэффициентов сопротивления в ребристых пучках по сравнению с гладким пучком составляет $\lambda_p/\lambda \approx 1,9$ для $T/d = 10$ и $\lambda_p/\lambda = 5,4$ для $T/d = 5$. При определении величины λ_p/λ использовали данные для гладкого пучка с шагом $S/d = 1,2$, полученные нами ранее [5]. Сравним эти результаты с известными данными других авторов для ребристых пучков с касанием «ребро по ребру».

Для анализа экспериментальных данных по определению коэффициентов гидравлического сопротивления в ребристых пучках рассмотрим величину λ_p/λ . За величину λ принимаем коэффициент трения для гладкого пучка с тем же шагом S/d , а там, где нет данных для гладкого пучка, — коэффициент сопротивления ребристого пучка с большим шагом навивки ребер ($T/d > 30$).

Рассмотрим рис. 3, на котором приведены результаты измерений коэффициентов гидравлического сопротивления ребристых пучков, полученные в работах [1, 6], а также результа-

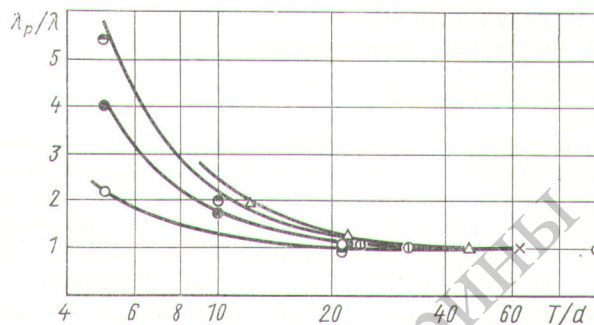


Рис. 3. Зависимость коэффициентов гидравлического сопротивления ребристых пучков от шага навивки ребер:

○ — расчет по формуле (4) для $S/d = 1,05$, $m = 4$ [1]; ● — $S/d = 1,13$, $m = 4$; ⊙ — $S/d = 1,20$, $m = 4$; △ — $S/d = 1,23$, $m = 3$ [6]; ⊖ — $S/d = 1,10$, $m = 2$ [1]; × — $S/d = 1,15$, $m = 4$ [1].

ты настоящей работы для турбулентного режима течения жидкости. Все экспериментальные данные приведены в координатах λ_p/λ — T/d для фиксированного шага S/d .

Из рис. 3 следует, что коэффициенты гидравлического сопротивления для ребристых пучков слабо зависят от шага навивки ребер при $T/d > 30$. Уменьшение шага навивки в области $T/d < 30$ приводит к заметному увеличению коэффициентов сопротивления в ребристых пучках. С возрастанием S/d степень влияния шага навивки ребер на величину коэффициента гидравлического сопротивления увеличивается. Из анализа экспериментальных результатов установлено, что при постоянном относительном шаге навивки ребер наблюдается линейная зависимость величины λ_p/λ от шага пучка или, что то же самое, от высоты ребер (рис. 4).

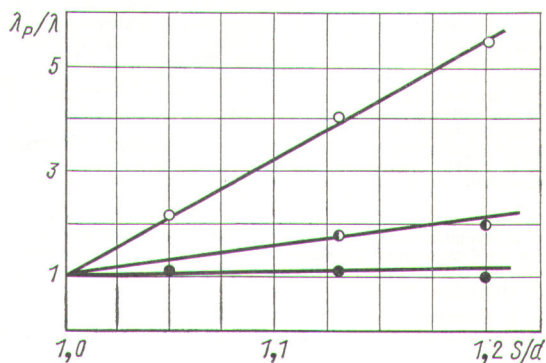


Рис. 4. Зависимость коэффициентов гидравлического сопротивления ребристых пучков от шага пучка S/d .

T/d равно: ○ — 5, ⊙ — 10; ● — 21,4.

В результате обработки опытных данных была получена эмпирическая формула

$$\frac{\lambda_p}{\lambda} = 1 + \frac{600}{(T/d)^2} (S/d - 1), \quad (4)$$

по которой можно рассчитывать коэффициенты гидравлического сопротивления ребристых пучков в турбулентном режиме течения жидкости ($10,000 \leq Re \leq 100,000$). Формула (4) хорошо аппроксимирует экспериментальные данные настоящей работы (S/d равно 1,13 и 1,2) и результаты работ [1, 5] для S/d , равного 1,05 и 1,23 соответственно.

Поступила в Редакцию 9/XII 1971 г.
В окончательной редакции 28/III 1972 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Шейнина. В сб. «Жидкие металлы». М., Атомиздат, 1967, стр. 210.
2. P. Miller et al. A.I.Ch.E. J. 2, No. 2, 226 (1956).
3. В. И. Субботин и др. «Атомная энергия», 9, 308 (1960).
4. Э. В. Фирсова. «Инф.-физ. ж.», № 5, 17 (1963).
5. В. И. Субботин и др. (СССР). Симпозиум СЭВ «Состояние и перспективы работ по созданию АЭС с реакторами на быстрых нейтронах». Т. 2, Обнинск, 1967, стр. 529.
6. П. И. Пучков, О. С. Виноградов. «Труды ЦКТИ». Вып. 82, 135 (1968).

Рефераты статей, опубликованных в настоящем выпуске

УДК 621.039.54
Некоторые технические принципы международного контроля ядерных материалов. В. М. Шмелев. «Атомная энергия», 33, 883 (1972).

Суммированы основные технические принципы и процедуры применения гарантий МАГАТЭ в условиях действия Договора о нераспространении ядерного оружия.

Контроль ядерных материалов определен как последовательность анализов и заключений в отношении количества и размещения ядерных материалов. Он может осуществляться с помощью трех основных методов: учета и баланса ядерных материалов, сохранения материалов и наблюдений.

Контроль осуществляется в следующей последовательности: 1) анализ учетных документов и отчетов; 2) проверка путем проведения независимых измерений; 3) анализ причин существенных расхождений учетных данных о количестве материала с фактическим количеством материала и 4) использование «ограничения доступности» и «наблюдения» как методов контроля ядерных материалов.

УДК 621.039.5/6
Гидравлические сопротивления при продольном обтекании пучков гладких и оребренных стержней. В. И. Субботин, Б. Н. Габрианович, А. В. Шейнина. «Атомная энергия», 33, 889 (1972).

Проведены экспериментальные исследования гидравлических сопротивлений в пучках гладких и оребренных стержней, расположенных в треугольной решетке. Получена эмпирическая формула для определения коэффициентов трения в пучках гладких стержней с относительным шагом $S/d = 1,0 \div 1,5$ при числах $10^4 < Re < 10^5$. Исследовано влияние шага навивки ребер на коэффициенты гидравлического сопротивления в пучках ребристых стержней. Приведены формулы для расчета коэффициентов гидравлического сопротивления в пучках ребристых стержней с $S/d = 1,0-1,2$ и относительным шагом навивки ребер $T/d = 5 - \infty$ при турбулентном режиме течения жидкости. (4 рис., 6 библиографических ссылок.)

УДК 621.039.5/6:532.517.4
Экспериментальные исследования осредненных характеристик турбулентного потока в ячейках пучков стержней. Ю. Д. Левченко, В. И. Субботин, П. А. Ушаков. «Атомная энергия», 33, 893 (1972).

В опытах с воздухом измерены распределения касательных напряжений на стенках и профили скорости в каналах, имитиру-

ющих ячейки треугольных решеток стержней с s/d , равным 1,05; 1,1; 1,2. Получены эмпирические формулы для коэффициентов трения и распределений касательных напряжений в правильных ячейках пучков стержней. Экспериментально подтверждена гипотеза об универсальности профилей скорости в каналах сложной формы, широко используемая в расчетно-теоретических исследованиях. Выявлены особенности процессов течения жидкостей в моделирующих каналах и правильных ячейках пучков стержней. (6 рис., 1 табл., 15 библиографических ссылок.)

УДК 546.799.4
Среднее число мгновенных нейтронов $\bar{\nu}$ при делении Pu^{239} нейтронами с энергией до 1,6 Мэв. К. Е. Володин, В. Ф. Кузнецов, В. Г. Нестеров, Б. Нурпеисов, Л. И. Пронхорова, Ю. М. Турчин, Г. Н. Смиреникин. «Атомная энергия», 33, 901 (1972).

Двама относительными методами измерена зависимость среднего числа мгновенных нейтронов $\bar{\nu}$, испускаемых на акт деления Pu^{239} , от энергии бомбардирующих нейтронов E_n в диапазоне $0-1,6$ Мэв с точностью $0,8-1,0\%$. Обсуждается корреляция между нерегулярностями в ходу $\bar{\nu}(E_n)$ и ряда других характеристик процесса деления $Pu^{239}(n, f)$. (2 рис., 3 табл., 20 библиографических ссылок.)

УДК 621.384.639
О принципах конструкций и возможном применении ускорителей со сверхсильным магнитным полем, получаемым с помощью взрыва. В. С. Панасюк, А. А. Соколов, Б. М. Степанов. «Атомная энергия», 33, 907 (1972).

Предложено несколько вариантов ускорителей однократно-го действия со сверхсильным магнитным полем, получаемым с помощью магнитокумулятивных генераторов. Рассмотрены циклические ускорители с бетатронным и высокочастотным ускорением, а также ускорители прямого действия. Оцениваются перспективные способы инжекции и выпуска частиц. Оцениваются перспективы использования предложенных циклических ускорителей для получения частиц сверхвысоких энергий. Указано, что применение подобных ускорителей целесообразно для ускорения пучков вторичных частиц и осуществления принципиально важных для физики высоких энергий экспериментов на встречных μ -мезонных и π -мезонных пучках. (5 рис., 10 библиографических ссылок.)