

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТВС РЕАКТОРА РБМК-1000

Е.Ф. Авдеев*, И.А. Чусов*, В.А. Левченко**

** Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,
г. Обнинск*

*** ЭНИМЦ «Моделирующие системы», г. Обнинск*



В работе приводятся основные результаты экспериментального исследования гидравлических характеристик модифицированной ТВС реактора РБМК-1000. Представлены данные по полному сопротивлению ТК с ТВС, сопротивлению входного и выходного участков ТВС с учетом изменения диаметра ТК. Исследовано влияние изменения азимутальной ориентации рассекателей модельной ТВС относительно пучка твэл на гидравлические характеристики входа, выхода и ТВС в целом. Приведены результаты измерения гидравлического сопротивления одиночной дистанционирующей решетки штатной ТВС.

ВВЕДЕНИЕ

Теоретическое обоснование и возможность внедрения новых ТВС или совершенствование уже существующих определяется в том числе их гидравлическими характеристиками, которые достоверно могут быть получены только в результате гидравлических испытаний. В настоящей работе приведено описание методических и технологических аспектов опытов, включая влияние изменения азимутальной ориентировки входного и выходного рассекателей относительно пучка твэл и изменения диаметра технологического канала.

В наиболее общем случае гидравлическое сопротивление в технологическом канале с ТВС реактора типа РБМК-1000 складывается из

- потерь давления на трение на участке продольного обтекания пучка твэл;
- потерь давления на дистанционирующих решетках;
- потерь давления во входной части;
- потерь давления в выходной части.

Экспериментальное исследование гидравлических характеристик ТК с ТВС проводилось на стенде «Циркуляционная петля», детальное описание которого приведено в [1]. Оборудование стенда позволило осуществить проливки в диапазоне чисел Рейнольдса $4 \cdot 10^3 \leq Re \leq 6 \cdot 10^4$. Несмотря на сравнительно узкий диапазон режимных гидравлических характеристик, полученные экспериментальные данные могут быть легко экстраполированы в область со значительно большими значениями Рейнольдса, соответствующих натурным реакторным установкам.

© Е.Ф. Авдеев, И.А. Чусов, В.А. Левченко, 2005

ОПИСАНИЕ РАБОЧЕГО УЧАСТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА «ЦИРКУЛЯЦИОННАЯ ПЕТЛЯ» ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ

Для проведения гидравлических испытаний модифицированной ТВС на стенде была проведена модернизация одного из рабочих участков стенда, позволившая моделировать сопротивление ТК с помещенной в него ТВС.

Конструкция модернизированной ТВС геометрически полностью соответствует конструкции половины ТВС (ТВС РБМК-1000 состоит из двух симметричных половин) натурального реактора РБМК-1000 [2, 3], содержит 10 дистанционирующих решеток (ДР), аналогичных штатным решеткам реактора РБМК, и одну концевую решетку специальной конструкции на выходе. На входе и выходе ТВС устанавливались рассекатели теплоносителя с отличной от штатной геометрией (рис. 1). Рассекатели закреплены гайкой со стороны входа и выхода на концевиках центральной трубки с внешним диаметром 15 мм. Со стороны входа теплоносителя имитаторы твэл закреплены в штатной дистанционирующей решетке, а со стороны выхода имеют специальные концевики, которые закреплены кольцевыми шайбами в концевой решетке (рис. 2).

Модельные технологические каналы (ТК), в которые помещалась ТВС, были двух типов. Внутренний диаметр ТК первого типа составлял 82 мм, а внутренний диаметр ТК второго типа 80 мм. Расположение ТК горизонтальное. При гидравлических испытаниях с увеличенным диаметром ТК, на каждую штатную дистанционирующую решетку приклеивалась резиновая полоска толщиной 1 мм с целью обеспечения плотного прилегания обечайки дистанционирующей решетки к внутренней поверхности ТК и исключения вибраций.

Гидравлический диаметр модельного ТК с ТВС первого типа (9,27 мм) отличался от гидравлического диаметра натурального ТК с ТВС (8,375 мм). Геометрические характеристики ТК второго типа полностью соответствовали штатным. Гидравлические длины имитаторов твэл и ТК равны длинам твэл и ТК натурального реактора. Основное отличие в конструкции модернизированной ТВС от применяемой на РБМК-1000 заключалось в изменении геометрии переднего и заднего рассекателей и концевой дистанционирующей решетки (рис. 1, 2).

Все элементы рабочего участка были выполнены из нержавеющей стали. Общий вид модифицированной ТВС и отдельных ее элементов, ТК с установленной в нем ТВС приведен на рис. 3.

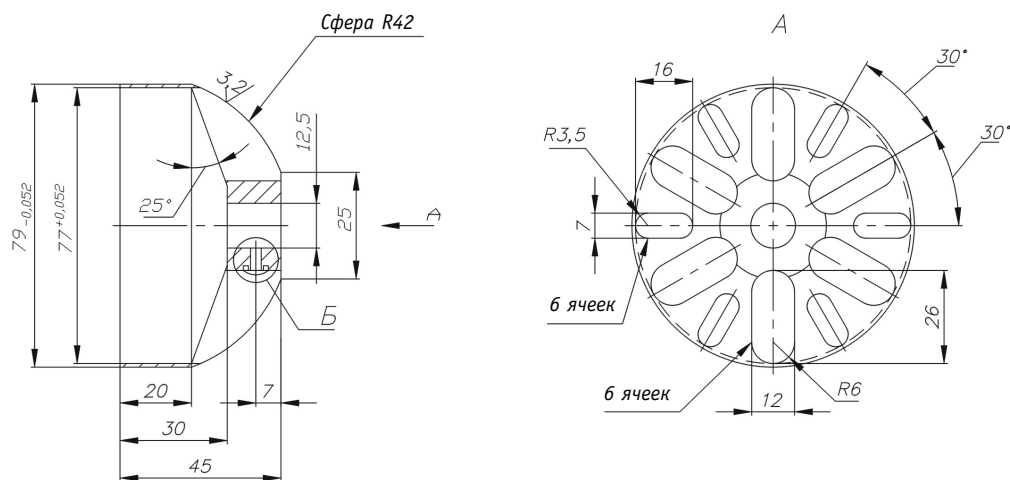


Рис. 1. Геометрические характеристики переднего и заднего рассекателей ТВС

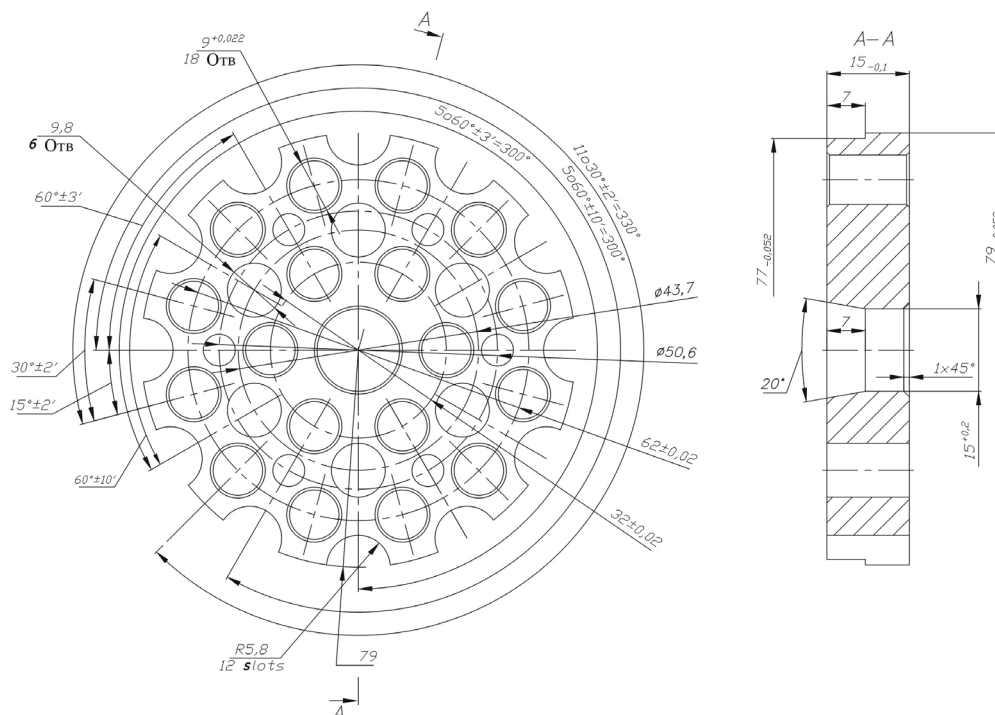


Рис. 2. Геометрические характеристики концевой дистанционирующей решетки ТВС

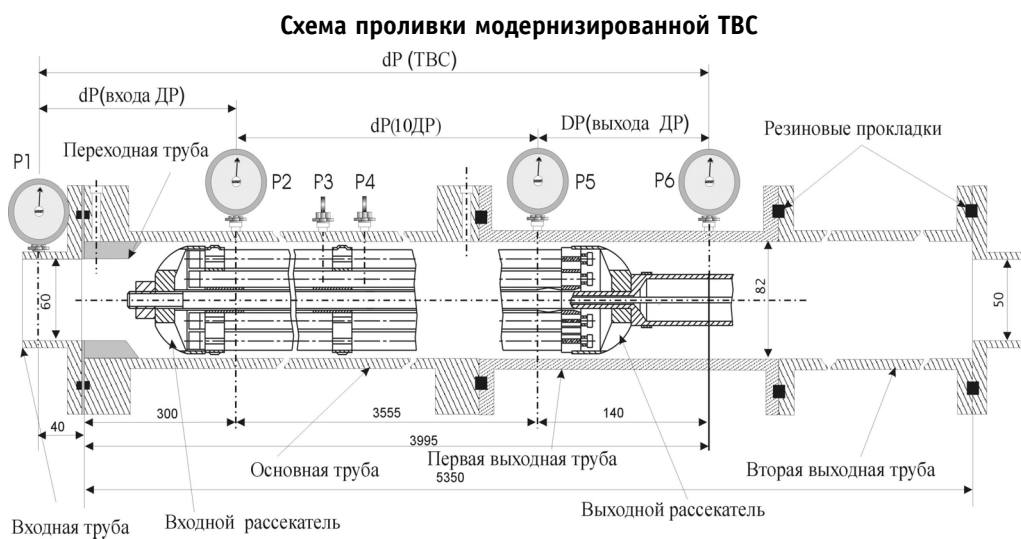


Рис. 3. Общая схема рабочего участка с установленной ТВС и основные геометрические размеры

После сборки модельной ТВС и установки ее в рабочий участок стенда «Циркуляционная петля», вся конструкция закреплялась в основном контуре экспериментального стенда, осуществлялось подключение измерительных приборов.

Большинство экспериментов по исследованию гидравлических характеристик модифицированной ТВС проводились при температуре теплоносителя 60°C. Для обеспечения заданного температурного режима основного контура экспериментальный стенд был оснащен вспомогательным контуром (контуром разогрева).

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ И ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Измерение перепадов давления на различных участках ТК с ТВС осуществлялось двумя взаимодополняющими способами. В случае перепада давления до 1,5 мм вод. ст. использовался батарейный манометр, который представлял собой набор параллельных пьезометрических трубок из полихлорвинила, закрепленных на специальном щите с нанесенными на нем линейными шкалами. Уровни воды в пьезометрических трубках понижались за счет подачи противодавления в верхний коллектор, создаваемым сжатым гелием из баллона. Перепад давлений на участках технологического канала с ТВС между измерительными сечениями i и j ΔP_{ij} рассчитывался по разности показаний $(h_i - h_j)$ в соответствующих пьезометрических трубках:

$$\Delta P_{i,j} = (\rho_{water} - \rho_{gas}) \cdot (h_i - h_j) \cdot g, [\text{Па}]$$

где ρ_{water} , ρ_{gas} [кг/м³] – плотности воды и газа в пьезометрических трубках при температуре воздуха в стендовом зале соответственно; $g = 9,80665$ [м/с²] – ускорение свободного падения.

В остальных случаях использовались образцовые манометры типа МО1227 и МО11202, которыми измерялись избыточные давления в сечениях модельной ТВС.

Характеристики образцовых манометров даны в табл. 1.

Температура воды измерялась перед входом в рабочий участок контура и после него. Точность определения температуры составляла 0,1°C. Общая погрешность измерений, с учетом погрешности измерения расхода ($\pm 3\%$), перепадов давления, а также погрешности изготовления труб - имитаторов ТК имитаторов твэлов составляла $\pm 6\%$.

Таблица 1

Характеристики образцовых манометров

Тип образцового манометра	МО1227	МО11202
Верхний предел измерения давления жидкости или газа, P_{max}	0.16 МПа	0.4 МПа
Число делений шкалы, N_{max}	400	250
Класс точности	0.15	0.25
Основная погрешность при температуре $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ (в делениях шкалы)	$\pm 0,6$	± 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МОДЕЛЬНОГО ТК С ТВС ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ 20 и 60°C

Для детального исследования гидравлического сопротивления модифицированной ТВС проводились специальные эксперименты, в которых изменялась азимутальная ориентация переднего и заднего раскателей относительно твэльного пучка. Угол отклонения составлял 15°.

По измеренному перепаду давления на участке ΔP_{ij} рассчитывался полный коэффициент сопротивления ζ

$$\zeta = \frac{2\Delta P_{ij}\sigma^2}{\rho Q^2},$$

где Q – объемный расход [м³/с]; σ – проходное сечение в пучке твэл [м²]. Число Рейнольдса также рассчитывалось по гидравлическому диаметру пучка твэл.

Результаты определения полного коэффициента гидравлического сопротивления ТК с ТВС в зависимости от числа Рейнольдса при диаметре ТК, равном 82 мм, представлены на рис. 4. Проливка осуществлялась при температуре теплоносителя 60°C.

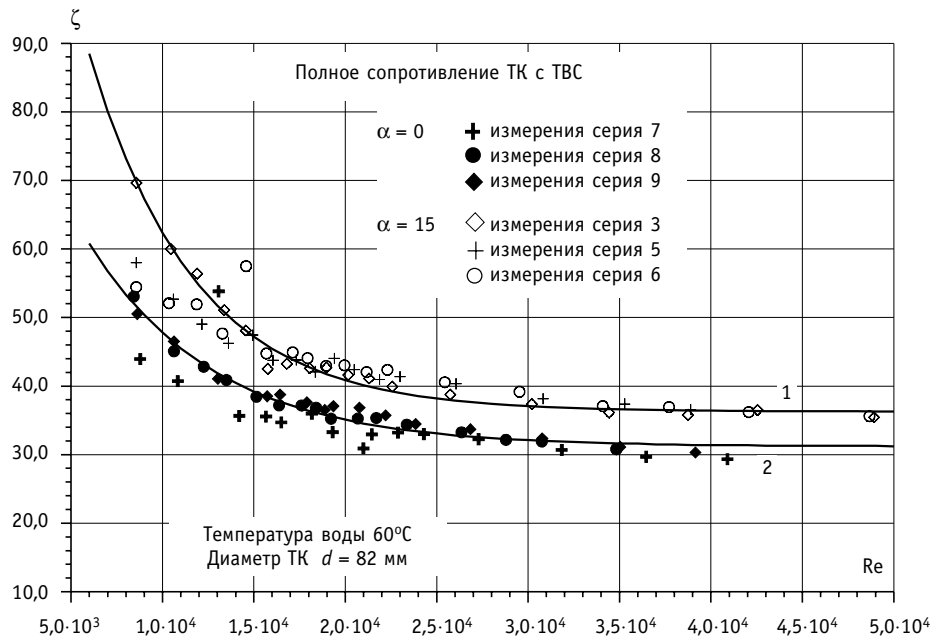


Рис. 4. Зависимость полного коэффициента сопротивления ТК с ТВС от числа Рейнольдса при температуре теплоносителя 60°C

На том же рисунке приведены аппроксимирующие опытные данные – сплошные кривые, найденные в виде:

$$\zeta = 36,3 + 148,1 \exp\left(-\frac{Re}{5756}\right), \quad 9 \cdot 10^3 \leq Re \leq 4,9 \cdot 10^4, \quad (1)$$

$$\zeta = 31,2 + 70,8 \exp\left(-\frac{Re}{6881}\right), \quad 9 \cdot 10^3 \leq Re \leq 4,1 \cdot 10^4. \quad (2)$$

Зависимость (1) аппроксимирует результаты проливки при азимутальной ориентации входного и выходного расщекателей относительно твэльного пучка $\alpha = 15^\circ$ (кривая 1), а зависимость (2) при азимутальной ориентации $\alpha = 0^\circ$ (кривая 2).

Из графика хорошо видно, что изменение угла ориентации расщекателей приводит к значительному изменению величины коэффициента сопротивления ТК с ТВС.

Анализ экспериментальных данных показал, что в исследованном диапазоне чисел Рейнольдса максимальное отличие величины коэффициента гидравлического сопротивления, в зависимости от угла ориентации расщекателей может достигать $\approx 27\%$, при числе Рейнольдса $\approx 8 \cdot 10^3$. В квадратичной области сопротивления ($Re \geq 3 \cdot 10^4$) изменение угла ориентации приводит к увеличению сопротивления ТК с ТВС на 13,4%, оставаясь практически постоянной величиной с увеличением числа Рейнольдса.

Результаты экспериментального исследования полного коэффициента гидравлического сопротивления ТК с ТВС при температуре теплоносителя 20°C приведены на рис. 5. Аппроксимация этих экспериментальных данных привела к следующим соотношениям для полного коэффициента гидравлического сопротивления:

$$\zeta = 40,5 + 66,9 \exp\left(-\frac{Re}{5805}\right), \quad 4 \cdot 10^3 \leq Re \leq 2 \cdot 10^4, \quad (3)$$

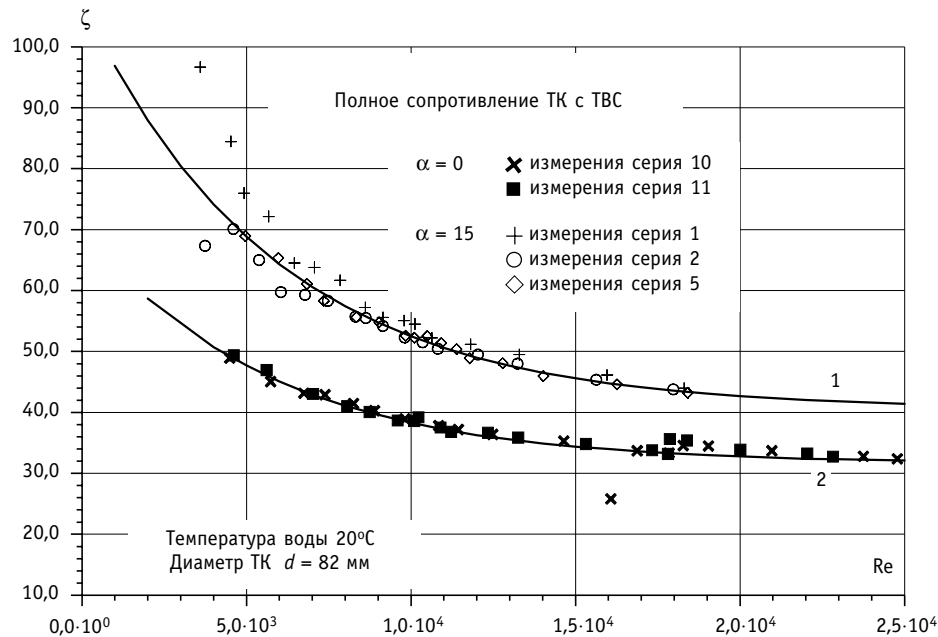


Рис. 5. Зависимость полного коэффициента сопротивления ТК с ТВС от числа Рейнольдса при температуре теплоносителя 20°C

$$\zeta = 31,6 + 38,4 \exp\left(-\frac{Re}{5736}\right), 4,5 \cdot 10^3 \leq Re \leq 2,5 \cdot 10^4. \quad (4)$$

Зависимость (3) соответствует углу ориентации 15° (кривая 1), а зависимость (4) – углу ориентации 0° (кривая 2).

Как и следовало ожидать уменьшение температуры не привело к изменению общей картины изменения коэффициента сопротивления в зависимости от числа Рейнольдса. При числе Рейнольдса $\approx 8 \cdot 10^3$ изменение угла ориентации привело к расхождению экспериментальных данных примерно на 28%.

В области сопротивления ($Re \geq 3 \cdot 10^4$) изменение угла ориентации приводит к увеличению сопротивления ТК с ТВС примерно на 22%.

Сравнение экспериментальных данных, полученных при различных значениях диаметра технологического канала, приведено на рис. 6: кривая 1 соответствует проливке ТК с диаметром $d = 82$ мм (аппроксимация проводилась с помощью соотношения (2)), а кривая 2 – аппроксимация экспериментальных данных при проливке ТК с диаметром ТК $d = 80$ мм.

Приведенная на рис. 6 кривая 2 описывается соотношением

$$\zeta = 19,3 + 38,4 \exp\left(-\frac{Re}{7791}\right), 5,1 \cdot 10^3 \leq Re \leq 5,5 \cdot 10^4. \quad (5)$$

Из рисунка видно, что уменьшение диаметра ТК привело к уменьшению коэффициента сопротивления ТВС. Последнее обстоятельство легко объясняется тем, что на дистанционирующие решетки были наклеены резиновые полоски являющиеся причиной местных сопротивлений на периодическое сужение и расширение потока. Анализ аппроксимирующих экспериментальные данные кривых, приведенных на рис. 6, показывает, что зависимость (2) фактически можно получить параллельным переносом зависимости (1).

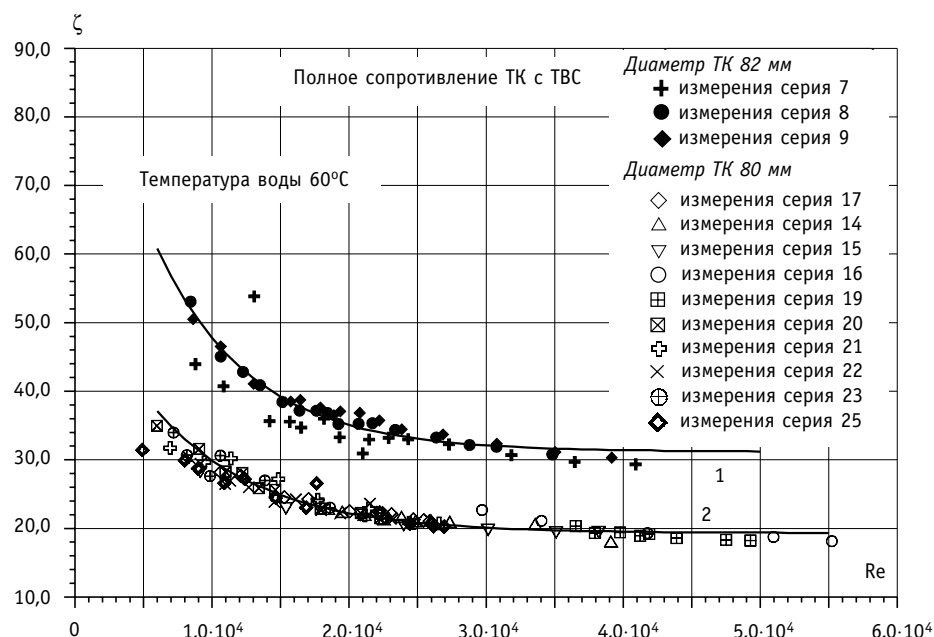


Рис. 6. Зависимость полного коэффициента сопротивления ТК с ТВС от числа Рейнольдса при различных диаметрах ТК

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ВХОДНОГО УЧАСТКА ТК С ТВС

Определение величины коэффициента местного сопротивления входного участка ТК с ТВС проводилось по измеренному перепаду давления на манометрах P_1 и P_2 (рис. 3). Гидравлические испытания проводились для температур воды 20 и 60°C. Результаты 6 групп гидравлических испытаний при различной взаимной ориентации входного рассекателя и пучка твэл при температуре теплоносителя 60°C приведены на рис. 7. Аппроксимация экспериментальных данных позволила получить следующую

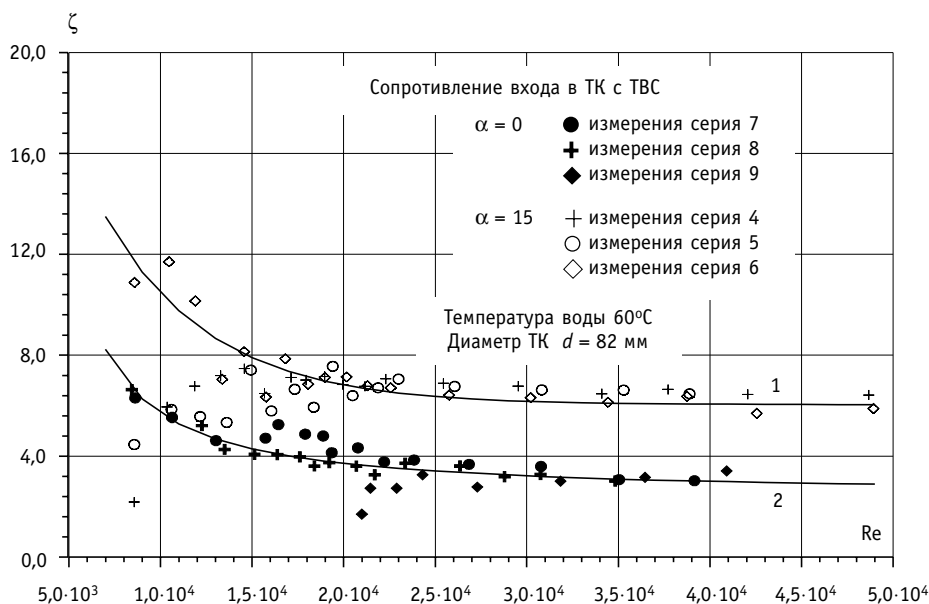


Рис. 7. Коэффициент сопротивления входа в ТК с ТВС. Проливка при $t = 60^\circ\text{C}$

щие зависимости для коэффициента местного сопротивления входного участка ТК с ТВС:

$$\zeta = 6,0 + 25,0 \exp\left(-\frac{Re}{5770}\right), \quad 8,5 \cdot 10^3 \leq Re \leq 5 \cdot 10^4, \quad (6)$$

$$\zeta = 3,2 + 15,7 \exp\left(-\frac{Re}{5563}\right), \quad 8,5 \cdot 10^3 \leq Re \leq 4,1 \cdot 10^4. \quad (7)$$

Кривая (1) соответствует углу ориентации $\alpha = 15^\circ$, а кривая (2) углу $\alpha = 0^\circ$. Анализ экспериментальных данных показал, что при числе Рейнольдса $Re = 8 \cdot 10^3$ изменение взаимной ориентации входного рассекателя и пучка твэл приводит к изменению коэффициента сопротивления входа примерно на 44%, а при больших числах Рейнольдса – примерно на 47%. При этом коэффициент гидравлического сопротивления входа при нормальной ориентации входного рассекателя при числах Рейнольдса $Re = 8 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^4$ уменьшается в пределах $\zeta = 6,92 - 3,26$. Увеличение коэффициента сопротивления при повороте на 15° по нашему мнению объясняется смещением положения проходных отверстий рассекателя и соответственно выходящих из них струй напротив концевых заглушенных торцов твэлов.

Результаты 4 групп гидравлических испытаний входа в ТК с ТВС при температуре 20°C приведены на рис. 8. Аппроксимация опытных значений позволила получить следующие зависимости:

$$\zeta = 7,3 + 7,5 \exp\left(-\frac{Re}{5283}\right), \quad 4,5 \cdot 10^3 \leq Re \leq 1,9 \cdot 10^4, \quad (8)$$

$$\zeta = 3,3 + 15,3 \exp\left(-\frac{Re}{3368}\right), \quad 4,5 \cdot 10^3 \leq Re \leq 2,5 \cdot 10^4. \quad (9)$$

Зависимость (8) соответствует углу $\alpha = 15^\circ$ (кривая 1), а зависимость (9) углу $\alpha = 0^\circ$ (кривая 2).

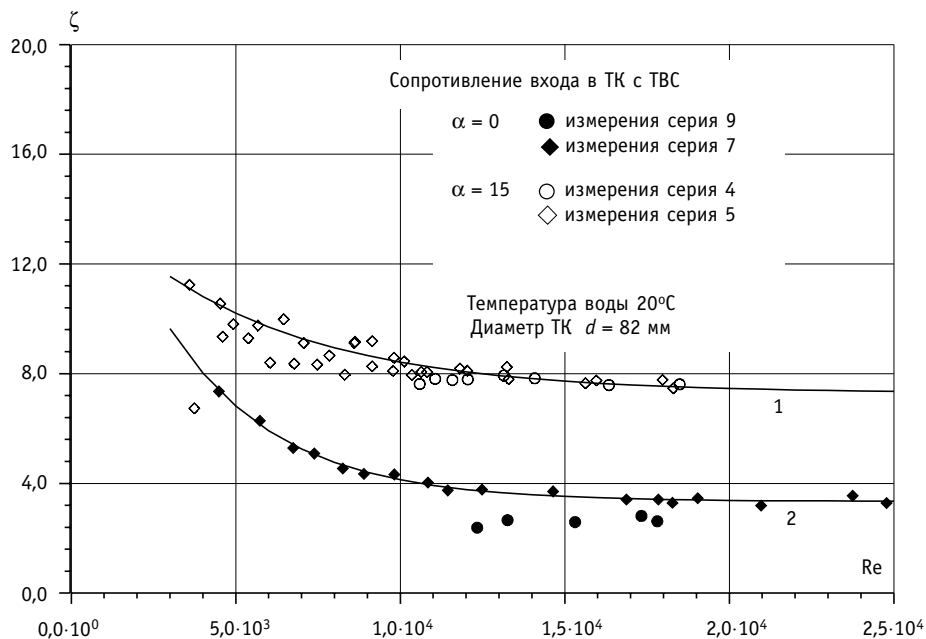


Рис. 8. Коэффициент сопротивления входа в ТК с ТВС. Пролитка при $t = 20^\circ\text{C}$

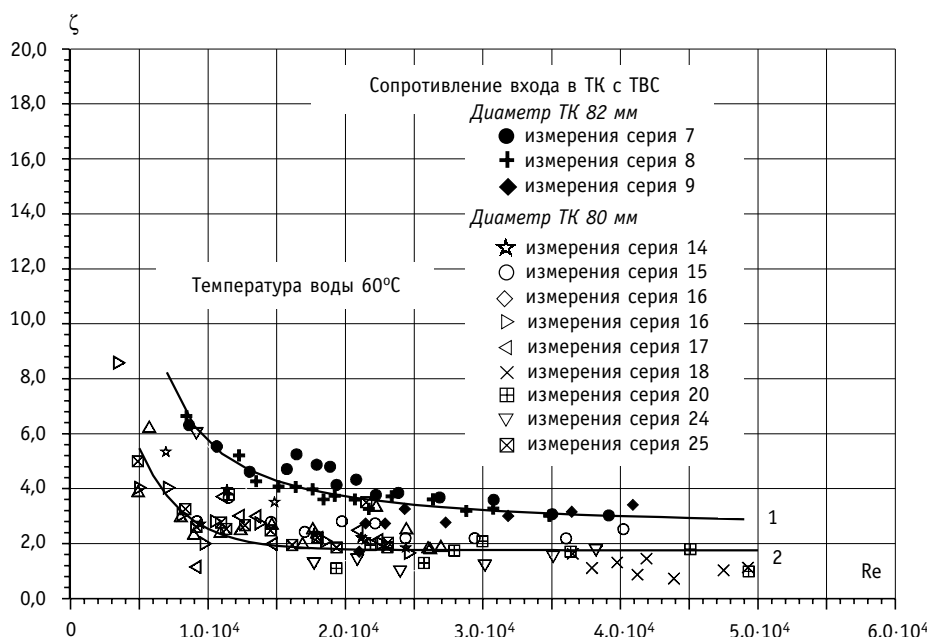


Рис. 9. Коэффициент сопротивления входа в ТК с ТВС при различных диаметрах технологического канала

Сравнение опытных данных по проливкам при различных диаметрах ТК приведено на рис. 9. Опытные данные по проливке с диаметром ТК $d = 80$ мм хорошо аппроксимируются зависимостью вида

$$\zeta = 1,8 + 17,8 \exp\left(-\frac{Re}{3189}\right), \quad 5 \cdot 10^3 \leq Re \leq 5 \cdot 10^4. \quad (10)$$

Как и в случае с полным сопротивлением ТК с ТВС, кривая 2 (проливка ТК с диаметром $d = 80$ мм) получается параллельным переносом кривой 1, соответствующей проливке с диаметром ТК $d = 82$ мм.

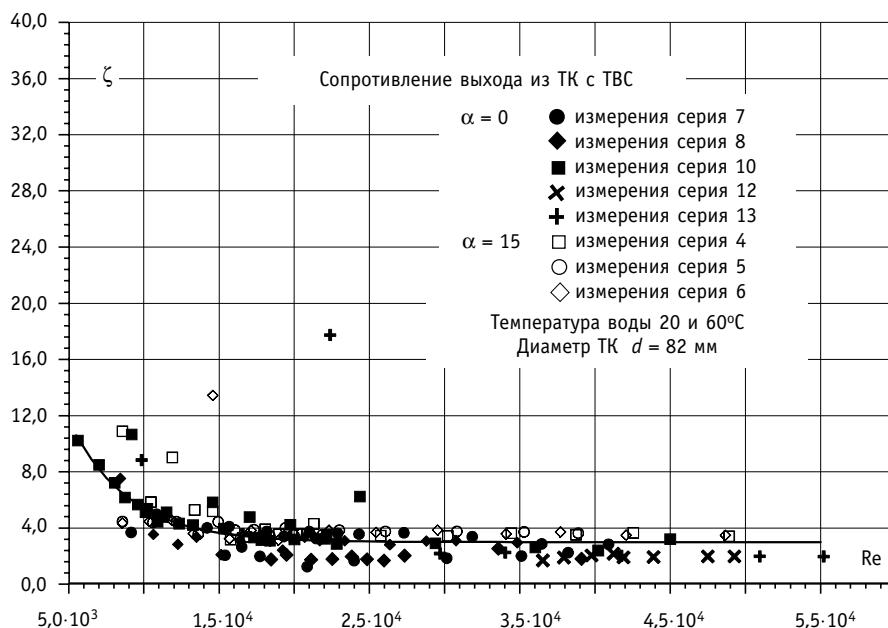
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЫХОДНОЙ ЧАСТИ ТК С ТВС

Как и в предыдущем случае испытания проводились при температуре теплоносителя 20 и 60°C. Результаты измерения коэффициента сопротивления выходного участка ТК с ТВС представлены на рис. 10. Полученные экспериментальные точки хорошо аппроксимируются зависимостью вида

$$\zeta = 3,0 + 31,6 \exp\left(-\frac{Re}{3884}\right), \quad 5 \cdot 10^3 \leq Re \leq 5,5 \cdot 10^4. \quad (11)$$

Из графика видно, что изменение взаимной ориентации входного рассекателя и пучка твэл практически не оказывает влияния на величину коэффициента сопротивления выходного участка. Последнее обстоятельство может быть объяснено значительной, по сравнению с входным участком, затесненностью потока теплоносителя концевой дистанционирующей решеткой и одинаковой азимутальной перестройкой потока в системе струй на участке между концевой решеткой и выходным рассекателем.

При увеличении числа Рейнольдса коэффициент сопротивления выходного участка принимает практически постоянное значение $\zeta \approx 3,25$. Опытные данные по результатам проливки с изменением диаметра ТК не приводятся, поскольку экспери-

Рис. 10. Коэффициент сопротивления выхода из ТВС. Проливка при $t = 20, 60$ °C

ментальные точки образуют достаточно плотное «облако» с приведенными на рис. 10 опытными данными и хорошо аппроксимируются зависимостью (11).

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ОДИНОЧНОЙ ДИСТАНЦИОНИРУЮЩЕЙ РЕШЕТКИ

Проведение измерений перепада давления на одиночной ДР связано со значительными техническими трудностями обусловленными в первую очередь малыми значениями перепадов давления на исследуемом участке. Это обстоятельство приводит к значительному росту относительной ошибки при проведении гидравлических испытаний.

Поэтому оценка величины коэффициента местного сопротивления одной дистанционирующей решетки проводилась следующим образом. Из перепада давления ($P_2 - P_5$) на длине ТВС, включающей десять дистанционирующих решеток, вычитался перепад давления на трение на этой длине. Оставшийся перепад давления принимался за величину потерь на десяти дистанционирующих решетках.

Для проведения расчета потерь давления на трение использовалась формула, приведенная в [4],

$$\lambda = 0,57 + 0,18(x - 1) + 0,53[1 - \exp(-A)]\lambda_2 \quad A = 0,58 + 9,2(x - 1) \quad \text{для } x > 1,02. \quad (11)$$

Величина относительного шага решетки x была равна 1,2.

Коэффициент сопротивления трения λ_1 находился по общеизвестным зависимостям для турбулентного течения в гидравлически гладких трубах

$$\lambda_1 = \begin{cases} \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \\ (1,82 \lg Re - 1,64)^{-2} \end{cases}, \quad (12)$$

где число Рейнольдса рассчитывалось по гидравлическому диаметру в пучке x .

Поскольку в эксперименте диаметр технологического канала составлял 82 мм, и на внешнюю обечайку дистанционирующей решетки наклеивалась накладка по ши-

рине дистанционирующей решетки, то возникла необходимость учета ее влияния на сопротивление ДР.

С учетом этого обстоятельства величина коэффициента сопротивления трения находилась следующим образом [5]:

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 1 + \frac{\zeta_{\text{CT}}}{\lambda_1} \frac{d}{l}, \quad \zeta_{\text{CT}} = 13,8 \left(\frac{\delta}{d} \right)^{3/2}, \quad (13)$$

где δ – толщина накладки на внешней обечайке дистанционирующей решетки; l – расстояние между дистанционирующими решетками; а λ_1 находилась по формулам (12).

Общая последовательность расчета выглядит следующим образом. По одной из подходящих зависимостей (12) вычислялся коэффициент сопротивления трения λ_1 . Затем, по формулам (13) вычисляются ζ_{CT} и λ_2 , и на основании формулы (11) – коэффициент сопротивления трения на всем участке пучка твэл.

На рис. 11 приведен график зависимости величины коэффициента местного сопротивления одной дистанционирующей решетки в зависимости от числа Рейнольдса с учетом поправки (13).

Аппроксимация экспериментальных данных позволила получить следующую зависимость для коэффициента сопротивления одиночной ДР:

$$\zeta_{\text{ДР}} = 1,3 + 7,4 \exp\left(-\frac{\text{Re}}{6009}\right), \quad 1 \cdot 10^4 \leq \text{Re} \leq 5 \cdot 10^4. \quad (14)$$

Видно, что экспериментальные точки достаточно плотно ложатся друг к другу, а аппроксимирующая кривая имеет явно выраженный параболический характер. В области чисел Рейнольдса $\text{Re} > 3 \cdot 10^4$ величина коэффициента сопротивления одиночной ДР составляет $\approx 1,3$.

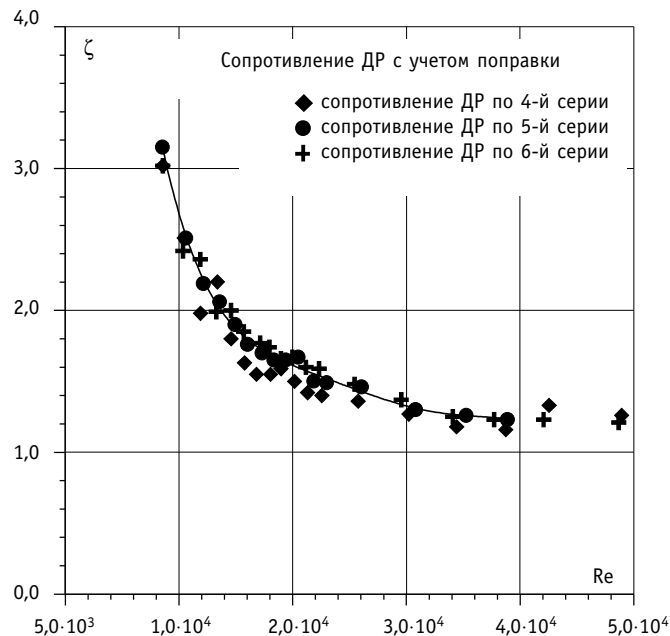


Рис. 11. Зависимость коэффициента сопротивления ДР от числа Рейнольдса (с учетом поправки)

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ТВС – тепловыделяющая сборка; ТК – технологический канал; ДР – дистанционирующая решетка; твэл – тепловыделяющий элемент; Re – число Рейнольдса.

Литература

1. Авдеев Е.Ф., Чусов И.А., Белозеров В.И., Максимовский В.В., Устюжанин А.Я., Пашиков С.П., Шувалов А. В. Верификация гидравлических характеристик стенда «Циркуляционная петля»// Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2002. – № 4. – С. 46-53.
2. Долежал Н.А., Емельянов И.Я. Канальный ядерный энергетический реактор. – М.: Атомиздат, 1980.
3. Белянин Л.А., Лебедев Ю.В. и др. Безопасность АЭС с канальными реакторами. Реконструкция активной зоны. – М.: Энергоатомиздат, 1997.
4. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). – М.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 358.
5. Альтшуль А.Д., Калицун В.И. Гидравлические сопротивления трубопроводов. – М.: Стройиздат, 1964.

Поступила в редакцию 1.06.2005

УДК 539.173.12

Experimental Cross-Sections of ^{238}U Fission Induced by Intermediate Energy Protons \A.Yu. Doroshenko, V.V. Ketlerov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 12 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 42 titles.

It was made the review of experiments on determining cross-section of ^{238}U fission induced by protons with energies from 200 to 1000 MeV. Experimental methods used in measurements were analyzed. Estimation of fragment fission registration effectiveness was provided on basis of the experiments description and with the help of newer solid track detectors characteristics measurements. As a result of conducted analysis of the effectiveness, we have corrected cross-section of the ^{238}U fission induced by protons in the energy region of interest.

УДК 621.039.56

Numerical Modeling of Coolant Mixing with REMIX Code \V.I. Melikhov, O.I. Melikhov, A.V. Petrosyan, S.E. Yakush; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 13 pages, 7 illustrations. – References, 21 titles.

REMIX (REactor MIXing) code for numerical analysis of coolant mixing is developed in Electrogorsk Research and Engineering Centre on NPP Safety. In this paper the mathematical model and numerical scheme of REMIX code is described. REMIX code is verified on two test problems: laminar/turbulent pipe flow, and flow behind a backward-facing step. The REMIX code is applied to calculation of boron mixing in VVER-1000 NPP reactor after start of main coolant pump. The calculations show that the decrease in the average boron concentration at the core inlet reached 31%, while local concentrations dropped by 38%.

УДК 621.039.524

Physical Statutes of Reactor VVER-1000 Analyze and Management of Emergency Situations \A.N. Shkarovskii, V.I. Aksekov, N.P. Serdun'; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 9 pages, 4 illustrations. – References, 8 titles.

Physical categories of nuclear power installation (NPI) determined by physical process which pass in elements of it equipment are suggested and founded. It is shown that combination (configuration) of physical categories determines physical conditions of NPI. Methodic for analysis of physical categories for determination of physical conditions is given. Analysis of different physical conditions of NPI is conducted, methodic of decision acceptance by operator on management of emergency situation (in support of safety system) with the purpose of consistent conversion to the final (safety) condition is developed.

УДК 621.039.526: 621.039.546.8

Experimental Research of Hydraulic Parameters of Modified Fuel Assembly for RBMK-1000 Reactor \E.F. Avdeev, I.A. Chusov, V.A. Levchenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 12 pages, 11 illustrations, 1 table. – References, 5 titles.

Main results of experimental research on hydraulic parameters of the RBMK-1000 modified fuel assembly are presented. Data on full friction for TC with fuel assembly and local friction of the inlet and outlet of fuel assembly taking into account TC diameter change are given. Influence of change in dissector longitudinal direction relative to rod bundle on the hydraulic parameters of inlet, outlet, and of the bundle at whole has been investigated. Results of local friction measurements for the single grid spacer of the typical fuel assembly are also given.

УДК 621.039.526

Influence of Track Geometry Deviation in Two-Loop Hydraulic Model on Total Hydraulic Friction Uncertainties \Yu.S. Yur'ev, Yu.D. Levchenko, I.A. Chusov, A.A. Kazantsev, I.N. Leonov; Editorial board of