

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ СКОРОСТЕЙ В ТВС

Д.В. Зайцев, А.Н. Чуркин, Д.В. Ульяновский, С.Г. Сергеев, Б.Г. Томковид

В настоящее время Государственной Корпорацией «Росатом» реализуется стратегия, предусматривающая выполнение программы по увеличению выработки на действующих блоках АЭС, которая подразумевает как повышение КИУМ и КПД станции, так и повышение тепловой мощности самого реактора. По инициативе Концерна «Росэнергоатом» были развернуты работы по обоснованию безопасной эксплуатации активной зоны и реакторной установки энергоблока №4 Балаковской АЭС на повышенной мощности до 107-110 % от номинальной.

Одним из вариантов реализации поставленной задачи является применение в конструкции тепловыделяющих сборок решеток-интенсификаторов теплообмена, позволяющих эксплуатировать ТВС в более жестких с точки зрения теплофизики условиях. С повышением тепловой мощности реактора увеличивается, как правило, температура теплоносителя на выходе из ТВС и паросодержание в «горячих» струях наиболее теплонапряженных участков ТВС.

Установка в верхней части конструкции ТВС решеток-интенсификаторов приводит к повышению эффективности перемешивания теплоносителя и позволяет уменьшить неравномерности его параметров по сечению сборки, улучшить условия теплообмена, и тем самым обеспечить запас до кризиса теплоотдачи.

В конструкции тепловыделяющих сборок ТВС-2М, которые используются в опытно-промышленной эксплуатации на энергоблоке №4 Балаковской АЭС, применяются перемешивающие решетки «Вихрь» и «Прогонка». Конструкция перемешивающих решеток «Вихрь» и «Прогонка» имеет ряд особенностей, одной из которых является отсутствие периферийного ряда ячеек, что позволяет избежать повреждения решеток при перегрузке активной зоны. Указанные решетки-интенсификаторы не являются частью жесткого каркаса топливной сборки.

Расчетные оценки показали, что при установке подобных перемешивающих решеток, в конструкции которых отсутствуют ячейки на периферии ТВС, в пучках твэлов ТВС имеет место перераспределение теплоносителя: увеличение расходов на периферии пучков и уменьшение через их центральные части.

Таким образом, установка перечисленных перемешивающих решеток не только положительно влияет на теплообмен, но и может повлиять на локальные гидравлические характеристики ТВС вследствие перераспределения потока по её сечению.

Целью исследований являлось определение величин следующих локальных параметров течения теплоносителя в периферийных ячейках модели ТВС с ПР и без ПР:

- полей скоростей в ее периферийных ячейках;
- величин расходов теплоносителя через центр модели ТВС и ее периферию;
- гидравлического сопротивления исследуемой модели.

Экспериментальные исследования проводились на малом контуре аэродинамического стенда ОКБ «ГИДРОПРЕСС», принципиальная гидравлическая схема которого представлена на рисунке 1.

Аэродинамический стенд имеет следующие основные элементы:

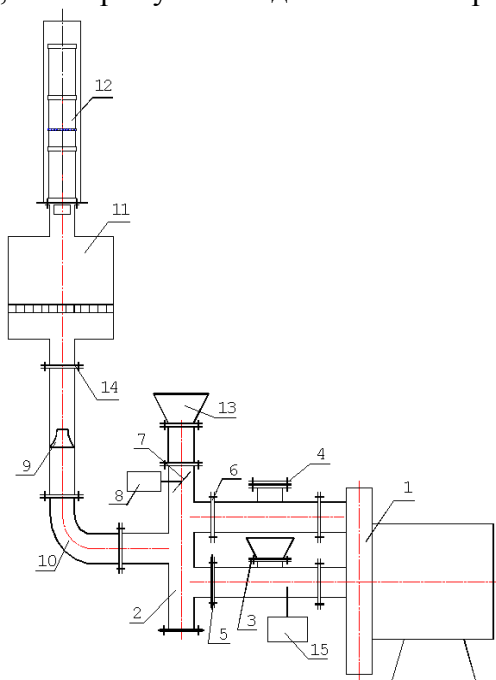
- вентилятор;
- коллектор;
- расходомерное устройство;
- успокоительная камера.

Технические характеристики вентилятора малого аэродинамического контура следующие:

- номинальная производительность - 3600 м<sup>3</sup>/ч;
- номинальное давление нагнетания - 8300 Па;

– рабочая среда- воздух с температурой от 15 до 25 °С.

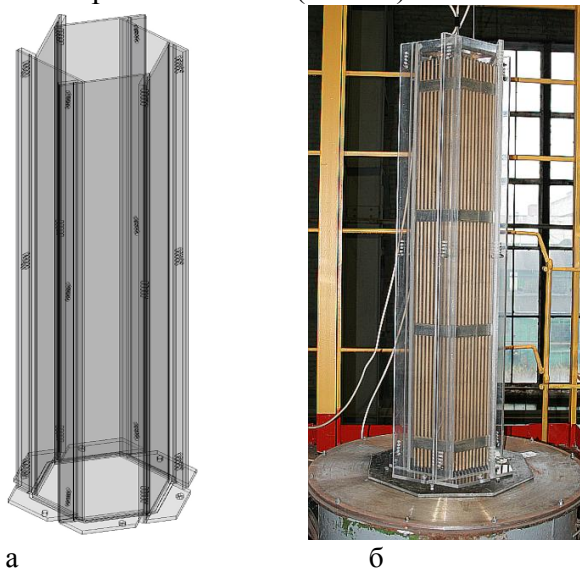
Расход воздуха через модель ТВС регулировался при помощи частотно-регулируемого электропривода, к которому был подключен электродвигатель вентилятора.



1 – вентилятор, 2 – коллектор, 3-6 – фланцы коллектора, 7 – заслонка, 8 – электропривод, 9 – расходомерное устройство, 10 – колено, 11 – успокоительная камера, 12 – модель ТВС, 13 – диффузор; 14 – фланцевый разъём; 15 – генератор дыма.

Рис. 1 – Принципиальная гидравлическая схема малого контура аэродинамического стенда

В качестве модели для исследований была использована экспериментальная модель ТВС, которая представляет собой полномасштабный в поперечном сечении необогреваемый фрагмент, имитирующий геометрию пучка твэлов ТВС ВВЭР-1200 (основные геометрические параметры которой в поперечном сечении эквивалентны ТВС-2М) высотой 1230 мм. Модель была установлена на аэродинамическом стенде в специально изготовленный прозрачный шестигранный чехол (канал). Канал был выполнен разборным. Его конструкция позволяет изменять внутренний размер «под ключ» канала в диапазоне от 237 до 245 мм. Высота канала составляла 1300 мм. На рисунке 2 приведено изображение модели ТВС и прозрачного шестигранного чехла (канала).



а

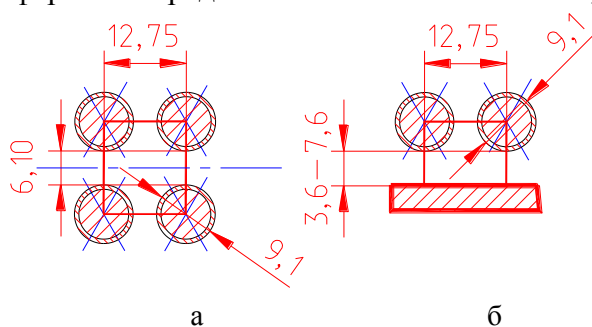
б

а – эскиз прозрачного шестигранного чехла

б - модель в прозрачном шестигранном чехле на рабочем участке

Рис. 2 – Модель ТВС и прозрачный шестигранный чехол (канал)

Максимальный размер 245 мм определялся исходя из условия равенства гидравлических диаметров натурной периферийной ячейки, ограниченной четырьмя твэлами двух соседних ТВС (по два твэла каждой ТВС) и модельной ячейки, ограниченной двумя периферийными твэлами модели ТВС и стенкой чехла. На рисунке 3 приведен эскиз элементарных ячеек периферийного ряда твэлов как активной зоны, так и модели ТВС.



а – натурная элементарная ячейка периферийного ряда твэлов двух соседних ТВС;  
б – элементарная ячейка модели ТВС

Рис. 3 – Эскиз элементарных ячеек периферийного ряда твэлов

При моделировании условий в ТВС в качестве теплоносителя использовался воздух. При условии соблюдения правил моделирования и обеспечения развитого турбулентного режима течения потока по всему проточному тракту модели полученные на воздухе гидродинамические параметры позволяют с достаточной достоверностью использовать их при расчете гидравлических характеристик натуральных изделий, в которых в качестве рабочей среды используют несжимаемую жидкость.

Скорости воздушного потока в модели ТВС регистрировались с помощью оптической измерительной системы типа ЛАД-05 ЭГ для 2D диагностики газожидкостных потоков, размер зондирующего оптического поля которой при фокусном расстоянии  $F = 0,5$  м составлял не более  $0,05 \times 1$  мм, а диапазон измеряемых скоростей - от  $5 \cdot 10^{-3}$  до 30 м/с.

Позиционирование оптической измерительной системы во время измерений осуществлялось 3D-координатным перемещающим устройством, которое позволяет перемещать зондирующее поле в диапазоне расстояний от 0 до 250 мм в XYZ-координатах с шагом 0,2 мм.

Измерение скорости потока ЛАД-05 ЭГ основано на определении частоты рассеянного от частиц, находящихся в потоке, высококогерентного лазерного излучения. Частота рассеянного излучения находится в зависимости от скорости движения частиц. Мощность рассеянного излучения изменяется во времени с частотой, зависящей от скорости частиц и не зависящей от направления регистрации рассеянного излучения.

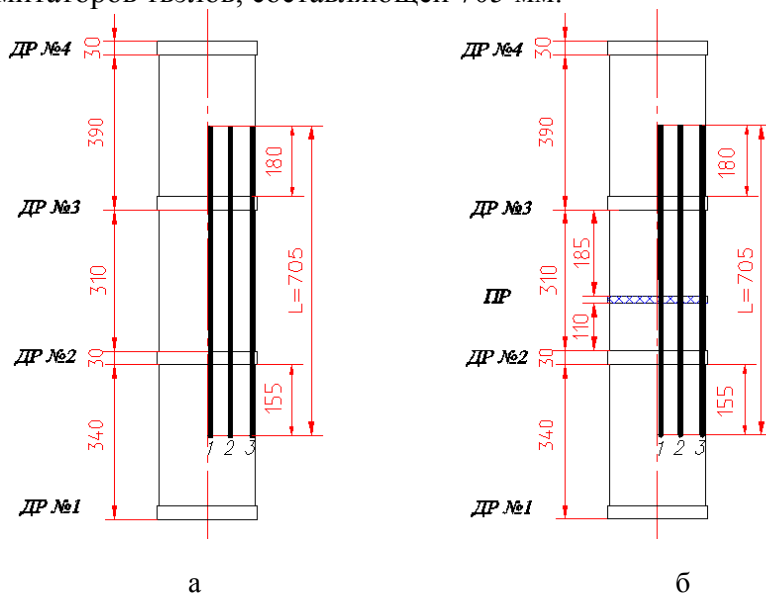
Засев воздушного потока частицами (трассером) осуществлялся с помощью генератора дыма (аэрозоля), который подавал образуемые им взвешенные частицы на вход вентилятора, откуда они поступали в модель ТВС. Размер генерируемых частиц составлял от 0,5 до 5,0 мкм.

Измерение перепадов статического давления в модели ТВС (между ДР с различными типами ПР и без ПР), проводилось с помощью зондов с отборами статического давления.

Для этого использовались три перемещаемых зонда с отборами статического давления. Расположение зондов с отборами статического давления, устанавливаемых в перфорированные измерительные имитаторы твэлов, показано на рисунке 4.

Зонд представлял собой трубку из нержавеющей стали диаметром 6,0 мм и длиной 1400 мм. Нижние торцы трубок были заглушены, а над заглушками просверлены боковые отверстия диаметром 2 мм, обеспечивающие отбор статического давления по высоте пучка твэлов модели. Отборы статического давления на всех зондах устанавливались на одной высоте относительно друг друга, затем два из них (периферийный и центральный) перемещались одновременно относительно третьего, расположенного между ними. Длина

перемещения зондов статического давления была ограничена длиной перфорации измерительных имитаторов твэлов, составляющей 705 мм.



а – конфигурация модели ТВС без ПР; б – конфигурация модели ТВС с ПР;

L - длина перемещения зондов статического давления, мм;

1, 2, 3 – перемещаемые зонды с отборами статического давления

Рис. 4 – Измерение поля давления на модели ТВС без ПР и с ПР

Измерение перепадов давления на модели ТВС выполнялось измерительными преобразователями разности давлений типа «Сапфир-22МТ-2410» или «Сапфир-22МТ-2420» с пределом допускаемой основной погрешности  $\pm 0,5\%$ .

Расход воздуха через модель ТВС измерялся с помощью вихревого расходомера фирмы «YOKOGAWA» с пределом измерения  $3600 \text{ м}^3/\text{ч}$  с погрешностью определения не более  $\pm 1\%$  от величины текущего расхода. Температура воздуха регистрировалась с помощью термопреобразователя сопротивления типа ТСМ-01 в комплекте с преобразователем измерительным модульным класса точности 0,5.

Все первичные преобразователи подключались к измерительной системе SCXI фирмы National Instruments. Управление измерительной системой осуществлялось персональным компьютером, в который была установлена плата АТ-М10-16ХЕ-50, с использованием прикладного программного пакета LabVIEW.

Экспериментальные исследования проводились последовательно на модели ТВС без ПР, с ПР «Вихрь» и затем с ПР «Прогонка», установленных на расстоянии 110 мм от ДР №2. Внешний вид исследуемых перемешивающих решеток показан на рисунке 5.



а – ячейки ПР «Вихрь» и схема закрутки потока;

б – ячейки ПР «Прогонка» и схема движения потока

Рис. 5 – Исследуемые перемешивающие решетки модели ТВС

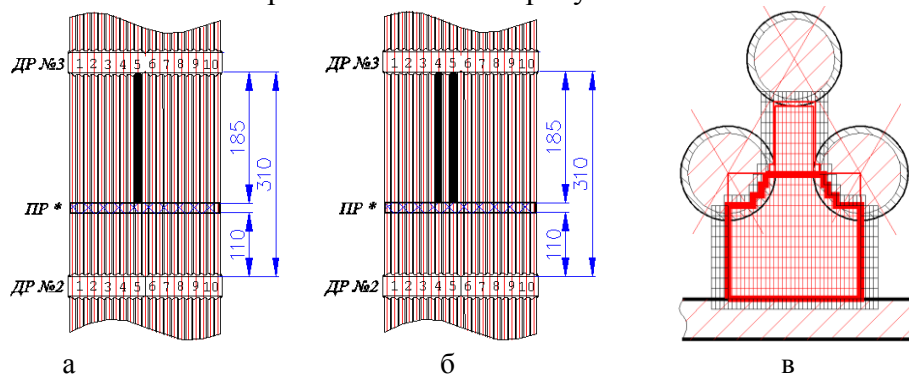
Исследования выполнялись для двух вариантов размера «под ключ» шестигранного чехла, 237 мм и 245 мм, в который устанавливалась модель ТВС. Для каждого из вариантов шестигранного чехла измерения проводились для двух величин расхода, равного  $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Измерения полей скорости в периферийных ячейках модели ТВС проводились с использованием измерительной «сетки» размером 0,4 мм × 1,0 мм и 0,2 мм × 0,5 мм.

Для определения высотного расположения сечения модели ТВС, характеризующегося наибольшей величиной средней скорости воздуха в периферийной ячейке, и определения длины участка стабилизации потока после ПР (или ДР № 2 на модели без ПР) сначала проводились измерения с использованием измерительной «сетки» размером 0,4 мм × 1,0 мм. Измерения поля аксиальных скоростей проводились:

- на участке пролета между ПР и ДР № 3 с шагом изменения высоты 20 мм;
- на одной из граней модели без ПР и с ПР «Вихрь» в ячейке №5;
- на модели с ПР «Прогонка» на грани типа 1 согласно рисунку 9 в ячейке № 5 и на грани типа 2 согласно рисунку 5 в ячейках № 4 и № 5.

Схема выполнения измерений показана на рисунке 6.



а – модель ТВС без ПР, с ПР «Вихрь» и ПР «Прогонка»; б – модель ТВС с ПР «Прогонка»; в – внешний вид координатной сетки для измерений поля скорости;

1...10 – номера периферийных ячеек грани модели ТВС

\* – место установки ПР «Вихрь» или ПР «Прогонка»

Рис. 6 – Измерения полей скоростей в периферийных ячейках пучка твэлов

По результатам измерений определялась средняя аксиальная скорость в каждой ячейке и строились графики зависимости средней скорости в ячейках от высоты их расположения, по которым определялась высота над ПР с максимальной величиной средней скорости потока («байпасный» расход).

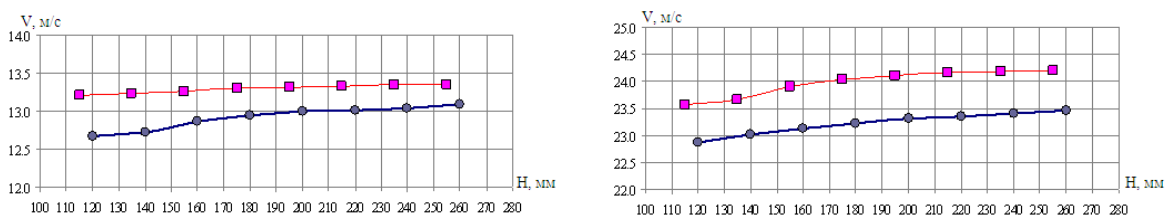
Средняя скорость в проходном сечении периферийной ячейки определялась следующим образом:

$$V_{cp} = \frac{1}{N_F} \sum_{i=1}^{N_F} V_{CPi}, \quad (1)$$

где  $N_F$  – это количество точек измерения в исследуемой области;

$V_{CPi}$  – средняя скорость в  $i$ -той точке периферийной ячейки, м/с.

На рисунках приведены графики измерения средней скорости в проходном сечении периферийной ячейки № 5 модели ТВС без ПР (рисунок 7), с ПР «Вихрь» (рисунок 8) и с ПР «Прогонка» (рисунок 9) в зависимости от высоты.



● – размер чехла «под ключ» 237 мм, ■ – размер чехла «под ключ» 245 мм,

а - расход воздуха через модель 1000 м<sup>3</sup>/ч; б - расход воздуха через модель 2000 м<sup>3</sup>/ч;

Рис. 7 – Графики измерения средней скорости в проходном сечении периферийной ячейки № 5 модели ТВС без ПР

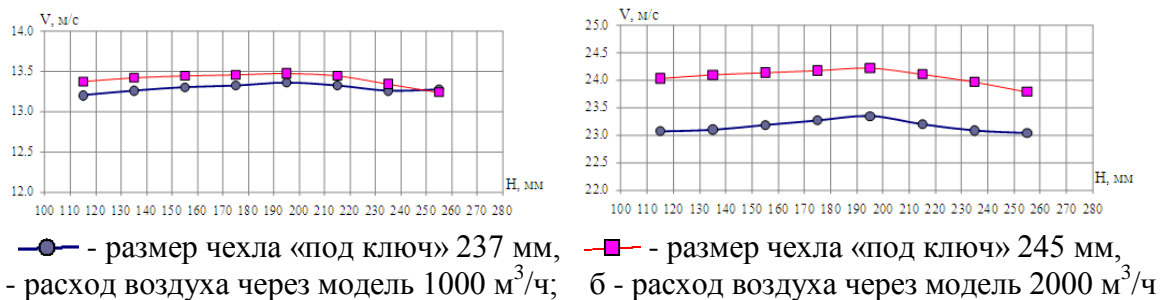


Рис. 8 – Графики измерения средней скорости в проходном сечении периферийной ячейки № 5 модели ТВС с ПР «Вихрь»

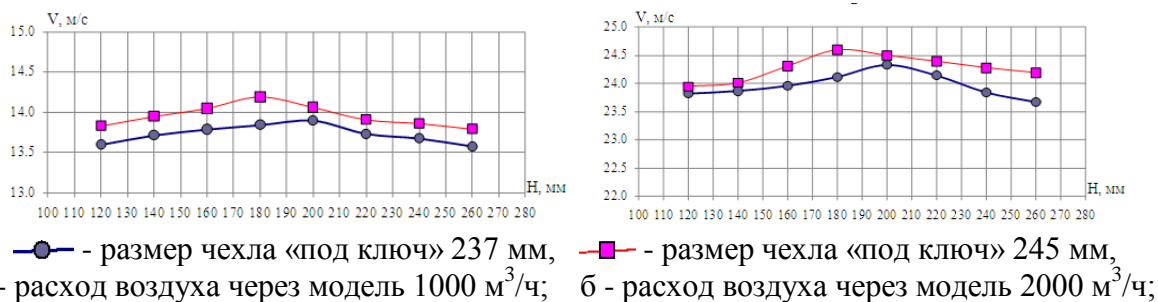


Рис. 9 – Графики измерения средней скорости в проходном сечении периферийных ячеек модели ТВС с ПР «Прогонка»

На графиках рисунка 7 видно, что на модели ТВС без ПР на пролете между ДР № 2 и ДР № 3 при всех комбинациях измерений среднее значение скорости в периферийной ячейке монотонно возрастает по высоте пролета от ДР № 2 до ДР № 3. При этом на высоте около 180 мм от ДР № 2 темп увеличения скорости потока несколько снижается и вплоть до высоты равной 260 мм от ДР № 2 ее прирост становится незначительным. Таким образом, измерения уточненных полей скорости в периферийных ячейках модели ТВС без ПР было принято провести на высоте 180 мм от ДР № 2.

На графиках рисунка 8 видно, что на модели ТВС с ПР «Вихрь» на пролете между ДР № 2 и ДР № 3 при всех комбинациях измерений среднее значение скорости в периферийной ячейке за ПР «Вихрь» монотонно возрастает до высоты от 175 мм до 195 мм от ДР № 2. Затем происходит снижение средней скорости потока. На высоте 240 мм от ДР № 2 средняя скорость потока начинает соответствовать средней скорости потока сразу за ПР «Вихрь». Таким образом, формирование максимального расхода воздуха по периферийным ячейкам модели ТВС происходит на расстоянии от 50 до 70 мм выше ПР «Вихрь», где среднее значение скорости потока по сечению периферийной ячейки максимально.

На графиках рисунка 9 видно, что на модели ТВС с ПР «Прогонка» на пролете между ДР № 2 и ДР № 3 при всех комбинациях измерений среднее значение скорости в периферийной ячейке за ПР «Прогонка» монотонно возрастает до расстояния 180 и 200 мм от ДР № 2 для модели с размером чехла «под ключ» 245 мм и 237 мм соответственно. Затем происходит снижение средней скорости потока. На высоте 260 мм от ДР № 2 средняя скорость потока приближается к величине средней скорости потока сразу за ПР «Прогонка».

Таким образом, формирование максимального расхода воздуха по периферийным ячейкам модели ТВС происходит на расстоянии от 55 до 75 мм выше ПР «Прогонка», где среднее значение скорости потока по сечению периферийной ячейки максимально.

На основании описанных выше измерений проводились уточненные измерения поля скорости в периферийных ячейках модели ТВС с использованием измерительной «сетки» размером 0,2 мм × 0,5 мм на высоте от ПР, соответствующей максимальной величине средней скорости потока. Измерения полей аксиальных скоростей выполнялись:

- на одной из граней модели ТВС без ПР и с ПР «Вихрь» в ячейках № 1, № 3 и № 5;

- на модели ТВС с ПР «Прогонка» на грани типа 1 в ячейках № 1, № 3 и № 5 и на грани типа 2 в ячейках № 4 и № 5.

На рисунке 10 приведены результаты детальных измерений аксиальных скоростей в ячейке № 5 модели ТВС без ПР.

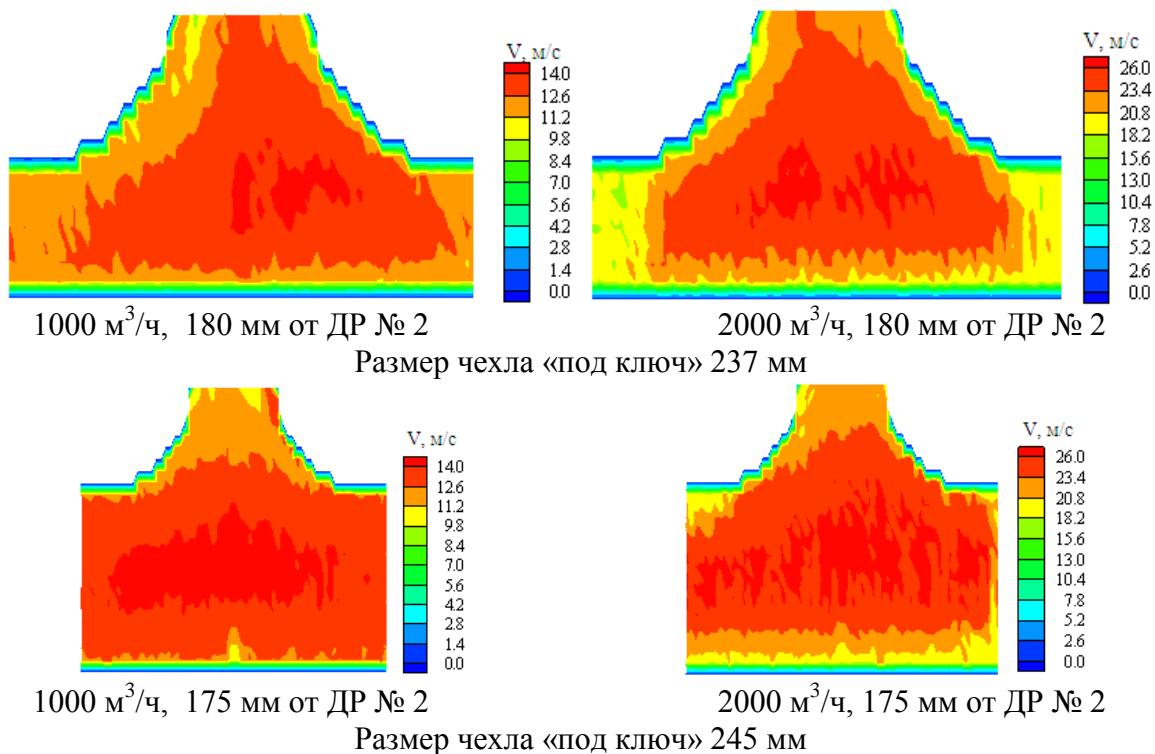


Рис. 10 – Результаты измерений поля скорости в периферийных ячейках модели ТВС без ПР в ячейке № 5

На рисунке 11 приведены результаты детальных измерений аксиальных скоростей в ячейке № 5 модели ТВС с ПР «Вихрь».

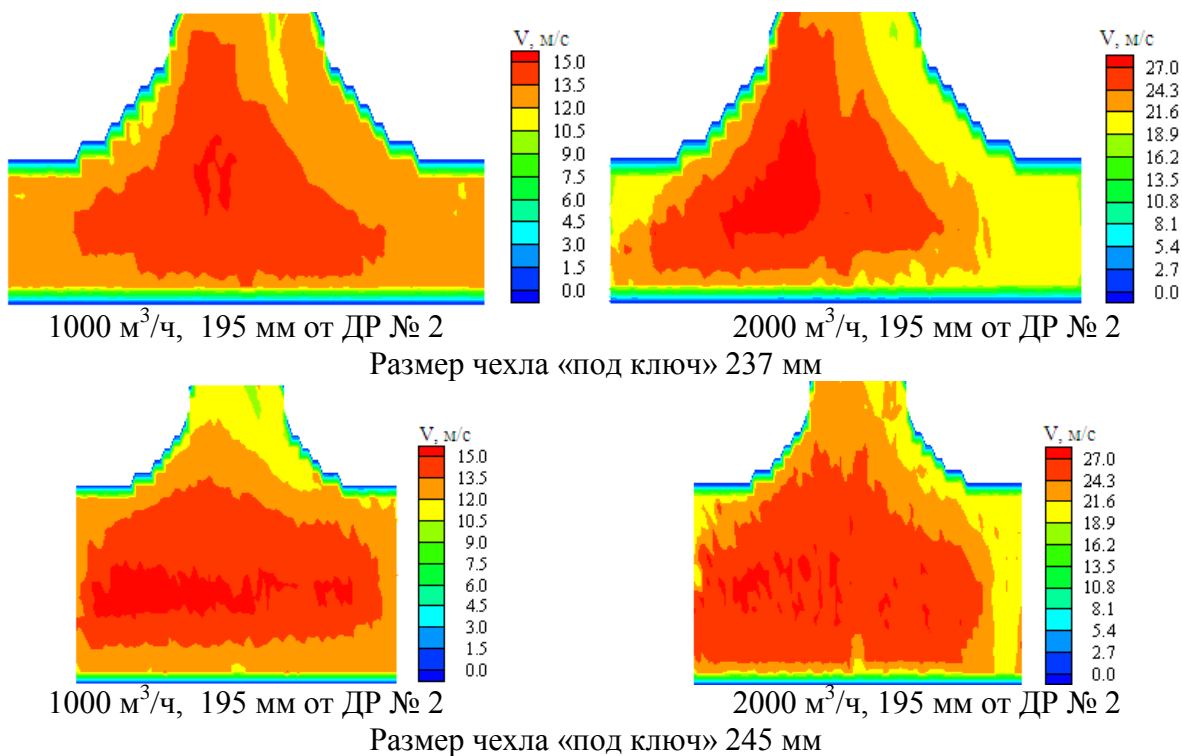


Рис. 11 – Результаты измерений поля скорости в периферийных ячейках модели ТВС с ПР «Вихрь» в ячейке № 5

На рисунке 12 приведены результаты детальных измерений аксиальных скоростей в ячейке № 5 модели ТВС с ПР «Прогонка».

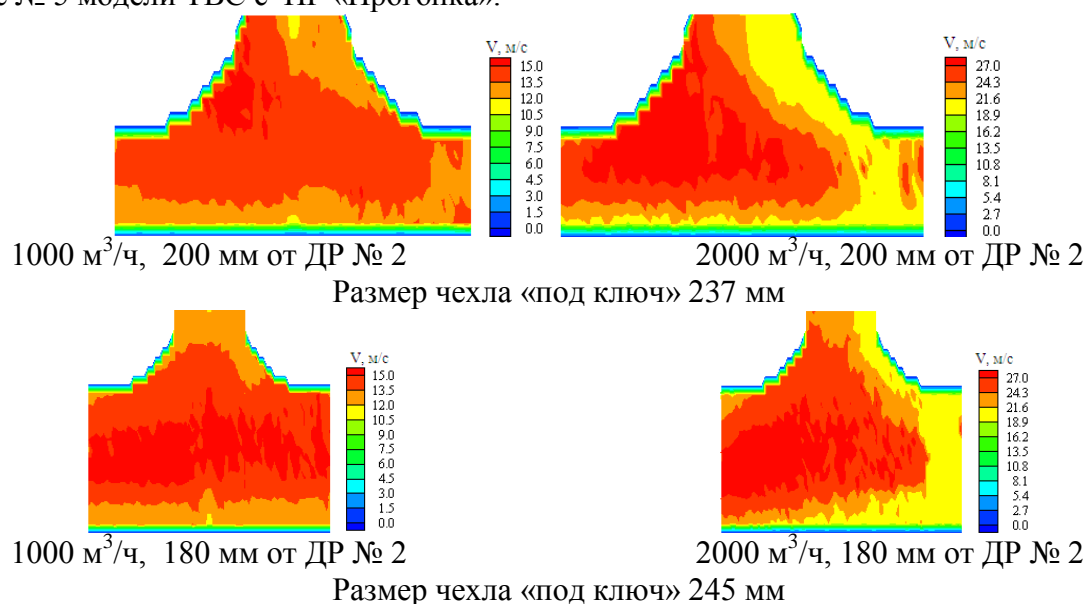


Рис. 12 – Результаты измерений поля скорости в периферийных ячейках модели ТВС с ПР «Прогонка» в ячейке № 5 грани типа 1

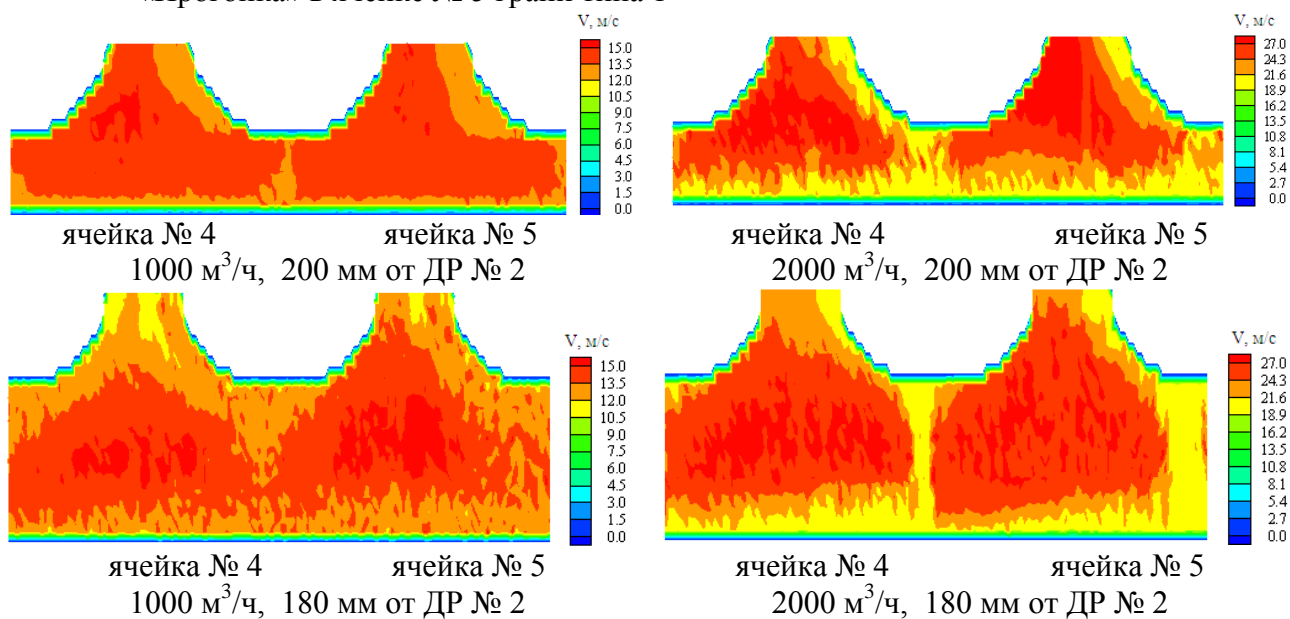


Рис. 13 – Результаты измерений поля скорости в периферийных ячейках модели ТВС с ПР «Прогонка» в ячейках № 4 и № 5 грани типа 2

Для оценки влияния установки ПР «Вихрь» и ПР «Прогонка» на распределение расходов по сечению модели ТВС в таблице 1 приведено сравнение распределения относительных расходов между центром и периферией на модели ТВС с ПР и на модели ТВС без ПР.

Таблица 1 – Распределение относительных расходов между центром и периферией ТВС

Размер чехла «под ключ», мм	Расход воздуха через модель, м <sup>3</sup> /ч	Увеличение расхода на периферии на модели ТВС, %	
		с ПР «Вихрь»	с ПР «Прогонка»
237	1000	1,1	1,9
	2000	0,1	0,9
245	1000	1,3	2,8
	2000	0,2	0,7



Таким образом, измерения полей скоростей в ряде периферийных ячеек модели ТВС, в том числе по её высоте, показали следующее:

– формирование максимального расхода воздуха по периферийным ячейкам модели ТВС происходит на расстоянии от 55 до 75 мм выше ПР «Вихрь» или ПР «Прогонка», где среднее значение скорости потока по сечению периферийной ячейки максимально;

– при любой конфигурации модели ТВС (с ПР или без ПР) наблюдается тенденция к снижению относительного расхода воздуха на периферии модели при увеличении расхода воздуха через модель с 1000 м<sup>3</sup>/ч до 2000 м<sup>3</sup>/ч;

– наибольшее увеличение относительного расхода на периферии модели ТВС с ПР наблюдается при размере чехла «под ключ» 245 мм и расходе воздуха через модель 1000 м<sup>3</sup>/ч (в указанном режиме и конфигурации модели в случае установки ПР «Вихрь» расход на периферии модели увеличивается на 1,3 % в сравнении с вариантом модели ТВС без ПР, а при установке ПР «Прогонка» – на 2,8 %);

– при варианте модели ТВС с ПР и установлении расхода воздуха через модель 2000 м<sup>3</sup>/ч увеличение расхода на периферии модели ТВС не превышает 0,9 % в сравнении с моделью ТВС без ПР;

– при более реалистичном размере под ключ 237 мм и расходе воздуха через модель 1000 м<sup>3</sup>/ч в случае установки ПР «Вихрь» расход на периферии модели увеличивается на 1,1 % в сравнении с вариантом модели ТВС без ПР, а при установке ПР «Прогонка» – на 1,9 %.

Во всех вариантах измерений увеличение расхода воздуха на периферии модели ТВС (в ее периферийных ячейках) не превышало величины погрешности измерения «байпасного» расхода, не превышающей при доверительной вероятности 0,95 значения ± 6,6 %.

В целом, на основании результатов измерений, можно сделать вывод, что перераспределение расходов между центральной частью пучка и периферией, происходящее за счет установки ПР, пренебрежимо мало на фоне возмущений, вносимых ДР.

В рамках настоящих исследований были также выполнены измерения перепада статического давления по высоте модели ТВС. В ходе измерений размер прозрачного чехла «под ключ» сначала устанавливался равным 237 мм, а затем 245 мм. Для каждого варианта чехла испытания проводились при расходе воздуха через модель 1000 м<sup>3</sup>/ч и 2000 м<sup>3</sup>/ч.

Схема выполнения измерений показана на рисунке 4. Измерения проводились с помощью зондов с отборами статического давления, подключаемыми к измерительному преобразователю разности давления, на участке модели, начинающемся на 155 мм ниже ДР №2 и заканчивающемся на 180 мм выше ДР №3. Зонд №1 использовался для отбора статического давления в центральной части модели, а зонд №3 – на ее периферии. Оба зонда были перемещаемыми. Зонд №2 использовался в качестве стационарного отбора статического давления. На основе результатов измерений строились графики изменения статического давления вдоль центральной и периферийной части пучка твэлов. Изменение статического давления на каждом пролете пучка твэлов аппроксимировалось функцией вида:

$$\Delta P_{\text{пролета}} = A + B L_{\text{пролета}}, \quad (2)$$

где  $L_{\text{пролета}}$  – длина пролёта пучка твэлов (между серединами соседних решеток), м;

$\Delta P_{\text{пролета}}$  – гидравлические потери на длине исследуемого пролёта пучка, Па;

$A$  и  $B$  – постоянные коэффициенты.

По перепадам давления на дистанционирующих решетках, измеренных в центральной части пучка твэлов, КГС ДР определялись по следующей формуле:

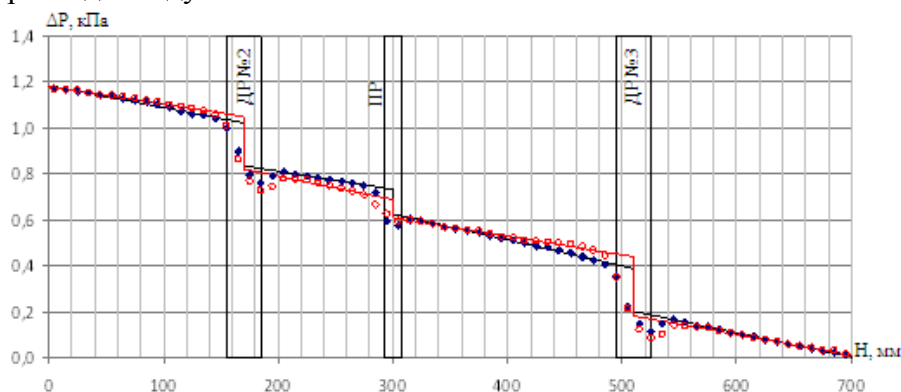
$$\zeta_{\text{реш}} = \frac{2 \cdot \Delta P_{\text{др}}}{\rho \cdot V_{\text{твэл}}^2}, \quad (3)$$

где  $\Delta P_{\text{др}}$  – изменение перепада давления на ДР, кПа;

$V_{\text{твэл}}$  – средняя скорость воздуха в модели ТВС, м/с;

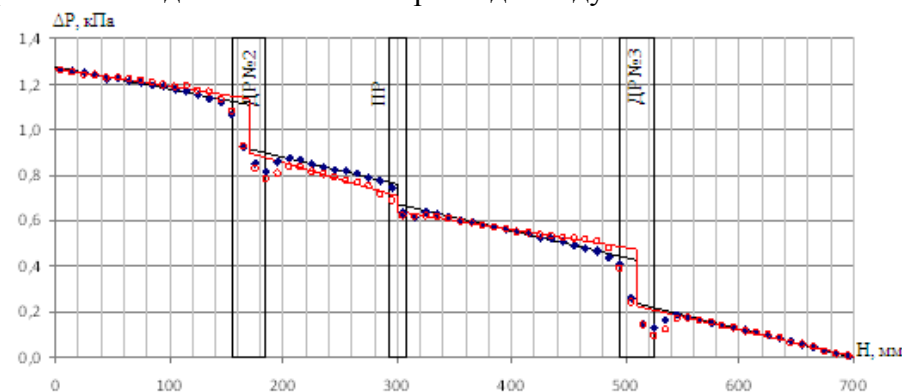
$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

В качестве примера на рисунках 14 и 15 приведены графики зависимости изменения давления по высоте модели ТВС с ПР «Вихрь» и ПР «Прогонка» при размере чехла «под ключ» 237 мм и расходе воздуха 2000 м<sup>3</sup>/ч.



◆ – в центре пучка твэлов (эксперимент); ○ – на периферии пучка твэлов (эксперимент);  
 — – расчетная зависимость (центр); — – расчетная зависимость (периферия).

Рис. 14 – График зависимости изменения давления по высоте модели ТВС с ПР «Вихрь» при размере чехла «под ключ» 237 мм и расходе воздуха 2000 м<sup>3</sup>/ч



◆ – в центре пучка твэлов (эксперимент); ○ – на периферии пучка твэлов (эксперимент);  
 — – расчетная зависимость (центр); — – расчетная зависимость (периферия).

Рис. 15 – График зависимости изменения давления по высоте модели ТВС с ПР «Прогонка» при размере чехла «под ключ» 237 мм и расходе воздуха 2000 м<sup>3</sup>/ч

Значения КГС ДР № 2 и ДР № 3, полученные в ходе испытаний на модели ТВС при размере чехла «под ключ» 237 мм и 245 мм, приведены в таблице 2. Значения КГС приведены к фактической средней скорости воздуха в пучке твэлов модели ТВС (вне ДР). В этой же таблице приведены значений КГС ДР макета ТВС АЭС-2006 (конструкции ДР макетов ТВС-2М и ТВС АЭС-2006 одинаковы).

Таблица 2 – Экспериментальные значения КГС ДР модели ТВС при числе Рейнольдса 14000 в сравнении КГС ДР макета ТВС АЭС-2006

Размер чехла «под ключ», мм	Модель ТВС без ПР		Модель ТВС с ПР "Вихрь"		Модель ТВС с ПР "Прогонка"		КГС ДР средний	КГС ДР ТВС АЭС-2006
	КГС ДР № 2	КГС ДР № 3	КГС ДР № 2	КГС ДР № 3	КГС ДР № 2	КГС ДР № 3		
237	0,70	0,71	0,70	0,70	0,71	0,70	0,70	0,71
245	0,66	0,64	0,67	0,63	0,61	0,60	0,63	0,71

Согласно таблице 2 можно определить, что отклонение КГС отдельных ДР от среднего значения КГС ДР модели ТВС, установленной в чехол с размером «под ключ» 237

мм, при числе Рейнольдса 14000 не превышает 2 %, а при чехле с размером «под ключ» 245 мм и том же числе Рейнольдса – не превышает 6 %.

Экспериментальные значения КГС ПР «Вихрь» и ПР «Прогонка», полученные в ходе испытаний на модели ТВС с размером чехла «под ключ» 237 мм и 245 мм при числе Рейнольдса, равном 14000, приведены в таблице 3.

Для сравнения в данной таблице также приведены КГС ПР «Вихрь» и КГС ПР «Секторная прогонка» испытанного ранее макета ТВС-2М. Следует отметить, что конструктивно ПР «Прогонка» и ПР «Секторная прогонка» одинаковы и являются разными вариантами исполнения ПР, собранных из конструктивно одинаковых элементов – ячеек.

Таблица 3 – Значения КГС ПР «Вихрь» и ПР «Прогонка» модели ТВС в сравнении с КГС ПР «Секторная прогонка» ТВС-2М

Число Re	КГС ПР «Вихрь»			КГС ПР «Прогонка» («Секторная прогонка»)		
	Размер чехла "под ключ" 237 мм	Размер чехла "под ключ" 245 мм	ТВС-2М	Размер чехла "под ключ" 237 мм	Размер чехла "под ключ" 245 мм	ТВС-2М
14000	0,39	0,33	0,39	0,33	0,27	0,34

Из таблицы 3 видно, что также как и КГС ДР, значения КГС ПР «Вихрь» и ПР «Прогонка» при увеличении размера чехла модели «под ключ» с 237 мм до 245 мм снижаются и при числе Рейнольдса 14000 КГС ПР «Вихрь» снижается на 15,4 %, а КГС ПР «Прогонка» – на 18,2 %.

Можно отметить, что как и в случае с КГС ДР, наиболее соответствуют ранее полученным значениям КГС ПР «Вихрь» и ПР «Секторная прогонка» результаты испытаний по определению КГС ПР «Вихрь» модели ТВС с размером чехла «под ключ» 237 мм и числе Рейнольдса 14000.

В целом, при увеличении размера чехла модели «под ключ» с 237 до 245 мм КГС как ДР, так и ПР снижается вследствие увеличения проходного сечения на периферии модели ТВС (между периферийными твэлами и стенкой чехла).

Экспериментальные данные по КГС ДР, а также КГС ПР «Вихрь» и ПР «Прогонка» модели ТВС с размером чехла «под ключ» 237 мм при числе Рейнольдса 14000 хорошо согласуются с ранее полученными результатами измерений на макетах ТВС, а их отклонение не превышает погрешности определения КГС.

В общем, по результатам измерений можно сделать вывод, что перераспределение расходов между центральной частью пучка и периферией, происходящее за счет установки ПР, пренебрежимо мало.

Результаты экспериментов могут быть использованы для верификации теплогидравлических расчетных кодов.