

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МАКЕТА ТВС С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

В.Н. Ульяновский, Д.В. Зайцев, А.Н. Чуркин

В 2017 году на стендах ОКБ «ГИДРОПРЕСС» были проведены исследования гидравлических характеристик полномасштабного макета тепловыделяющей сборки (ТВС) с улучшенными термомеханическими характеристиками, целью которых являлось определение его гидравлических характеристик.

Твэлы современных тепловыделяющих сборок имеют цанговое крепление в нижней решетке, что затрудняет проведение ремонтных работ. В испытываемой ТВС твэлы не имели крепления в нижней решетке (НР), что потребовало как некоторого изменения конструкции твэлов и НР, так и оптимизации количества и расположения ДР.

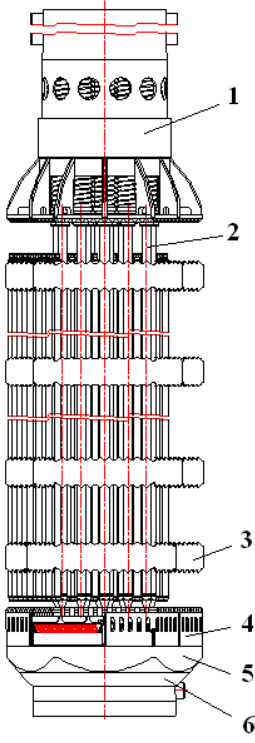
Для проверки данных конструктивных изменений был разработан и изготовлен испытываемый макет ТВС без крепления тепловыделяющих элементов в нижней решетке с улучшенными термомеханическими характеристиками (см. рисунок 1), конструкция которого обеспечивает возможность ремонта в условиях АЭС.

Отличия конструкции испытываемого макета ТВС от конструкции штатных ТВС АЭС-2006 заключались в следующем:

- имитаторы твэлов в макете были установлены без крепления в НР, соответственно изменена конструкция нижней заглушки имитаторов твэлов;

- толщина НР макета уменьшена до 12 мм и изменена ее перфорация;

- в конструкцию НР добавлен круглый штырь диаметром 9 мм (см. рисунок 2), а в центре, в месте пересечения ребер хвостовика, выполнено отверстие для центровки хвостовика относительно пучка твэлов и для дополнительного крепления НР в хвостовике;



1 – головка; 2 – НК;
3 – дополнительная ДР;
4 – НР; 5 – уголок;
6 – хвостовик

Рис. 1 Макет ТВС АЭС-2006 с улучшенными термомеханическими характеристиками

- в нижней части каркаса макета была установлена дополнительная (14-ая) ДР, предназначенная для снижения вибрационных нагрузок и повышения устойчивости имитаторов твэлов к фреттинг-износу в ДР;

В составе испытываемого макета ТВС имелся АДФ, показанный на рисунке 2.

Расстояние между торцами имитаторов твэлов и нижней решеткой головки составляло 50 мм.

В остальном конструкция макета соответствовала конструкции ТВС АЭС-2006.

Поскольку конструктивные отличия данного макета ТВС могут повлиять на его гидравлическое сопротивление, то для проверки этого было предусмотрено проведение испытаний макета, целью которых являлось получение зависимостей изменения общего КГС

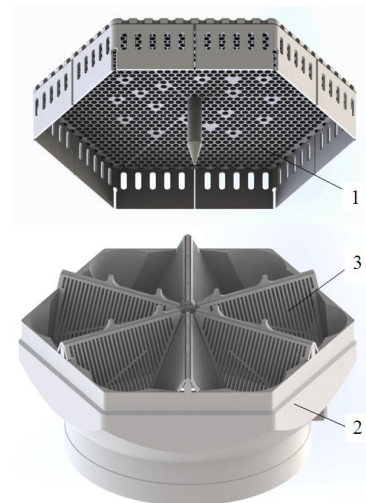


Рис. 2 Хвостовик макета

макета и КГС его основных элементов: хвостовика (с АДФ и НР), обогреваемого участка пучка твэлов и выходного участка макета (головки с необогреваемым участком пучка).

Исследования проводились сначала на стенде с однокассетной колонкой низкого давления в диапазоне изменения чисел Рейнольдса от 30000 до 180000, а затем на стенде с колонкой высокого давления в диапазоне изменения чисел Рейнольдса от 30000 до 450000.

Однокассетные колонки стендов представляли собой вертикальные шестигранные каналы со средним внутренним размером "под ключ" 237,1 мм. Испытываемый макет устанавливается в них на штатную опорную трубу, жёстко закреплённую в нижней части корпуса колонки. Головка макета при помощи крестовины поджималась верхней частью корпуса колонки, предотвращающей всплытие макета. Испытания проводились без ПС СУЗ.

Коэффициенты гидравлического сопротивления (КГС) макета и его элементов приводились к средней скорости воды в пучке твэлов испытываемого макета в колонке стенда (вне ДР) и определялись на основе измеренных величин перепадов давления по формуле (1):

$$\zeta_i = \frac{2 \cdot \Delta P_i}{\rho \cdot V_{\text{ТВЭЛ}}^2} + \frac{F_{\text{ТВЭЛ}}^2}{F_{\text{ВХ}}^2} - \frac{F_{\text{ТВЭЛ}}^2}{F_{\text{ВЫХ}}^2}, \quad (1)$$

где ΔP_i – измеренный перепад давления на макете или его элементе с учётом поправки на разность плотностей воды в импульсных линиях контрольно-измерительных приборов и колонке, Па;

$F_{\text{ТВЭЛ}}$ – площади проходных сечений пучка твэлов ТВС в колонке стенда, м².

На рисунке 3 приведены экспериментальные значения КГС хвостовика испытываемого макета, полученные на стенде массового пролива кассет в диапазоне чисел Рейнольдса от 25000 до 160000. Величины КГС на нем приведены к площади проходного сечения пучка твэлов макета в колонке стенда горячей обкатки.

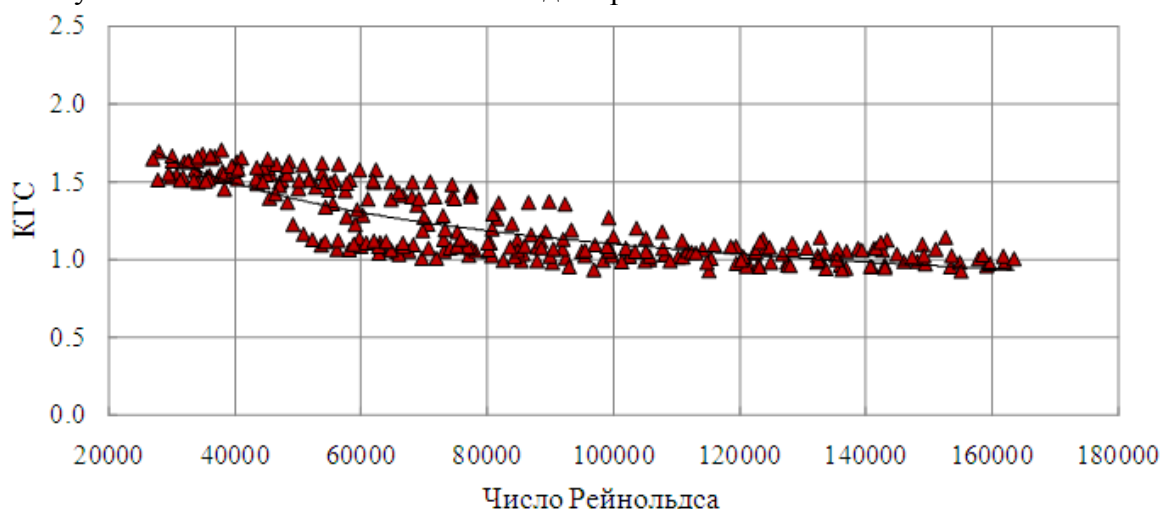


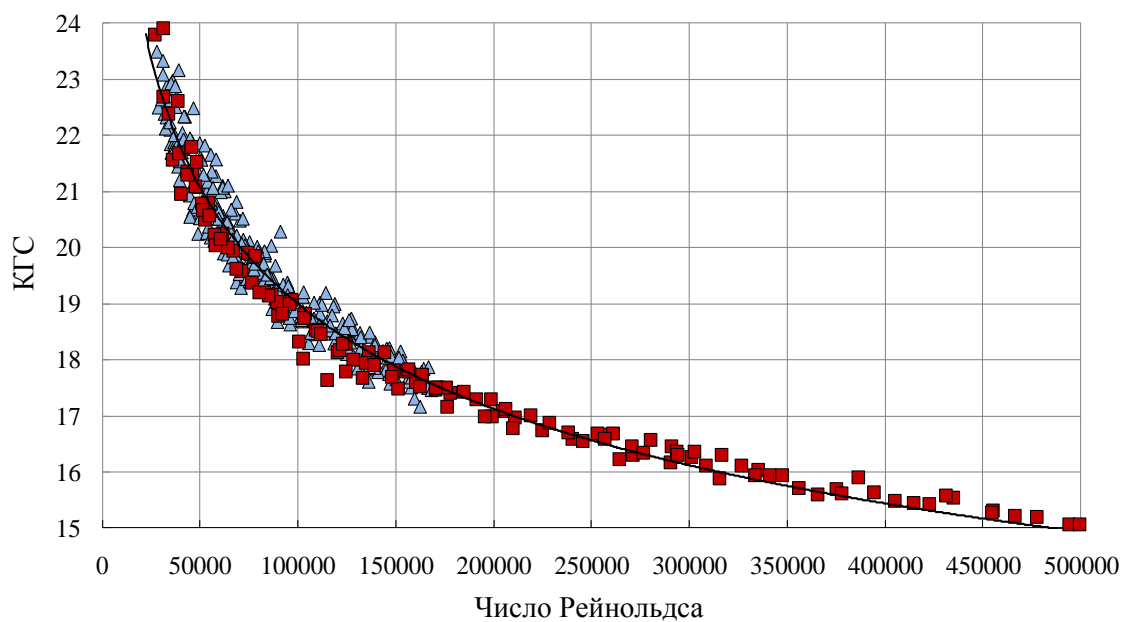
Рис. 3 Экспериментальные значения КГС хвостовика макета ТВС

Экспериментальные величины КГС испытываемого макета ТВС в целом, полученные на стендах массового пролива кассет и горячей обкатки, приведены на рисунке 4.

Из представленного на рисунке 4 графика видно, что значения КГС испытываемого макета ТВС, полученные на обоих стендах имеют хорошее совпадение и образуют единую совокупность точек.

В таблице проведено сравнение гидравлического сопротивления основных элементов испытываемого макета ТВС с гидравлическим сопротивлением аналогичных участков ТВС АЭС-2006 с АДФ, но без трёх перемешивающих решёток. Величины КГС элементов испытываемого макета ТВС, как и ТВС АЭС-2006 при числе Рейнольдса 450000 в

этой таблице приведены к площади проходного сечения их пучков ТВЭЛов в активной зоне реактора $F_{ТВЭЛ(АЗ)}=0,02542 \text{ м}^2$.



▲ - на стенде массового пролива кассет; ■ - на стенде горячей обкатки

Рис. 4 Экспериментальные значения КГС испытанного макета ТВС в целом без крепления ТВЭЛов в нижней решетке

Сравнение значений КГС основных элементов испытываемого макета ТВС и ТВС АЭС-2006

Тип ТВС	Участок макета			
	ТВС в целом	Обогреваемая часть пучка ТВЭЛов	Хвостовик с АДФ	Выходной участок
Макет ТВС	14,84	11,80	0,61	2,43
ТВС АЭС-2006	14,88	11,26	1,21	2,41

Заключение

Проведены испытания макета ТВС без крепления ТВЭЛов в нижней решетке, в ходе которых были получены зависимости изменения коэффициентов гидравлического сопротивления (КГС) макета в целом и КГС его основных элементов: хвостовика (с АДФ и НР), обогреваемого участка пучка ТВЭЛов и выходного участка (головки с необогреваемым участком пучка).

Полученные результаты могут быть использованы в качестве исходных данных для теплогидравлических расчетов, при выполнении анализов безопасности, расчетов динамических характеристик ТВС.