

РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ АНТИДЕБРИЗНЫХ ФИЛЬТРОВ

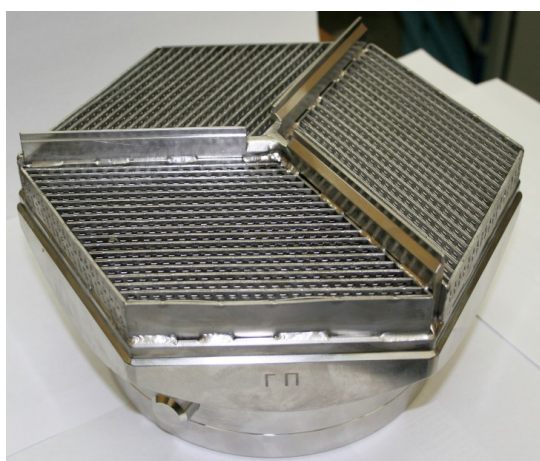
В.Ю. Волков, Л.А. Голибродо, А.А. Крутиков, О.В. Кудрявцев, А.П. Скибин

В настоящее время актуальной проблемой повышения надежности оборудования активных зон современных РУ с ВВЭР является защита тепловыделяющих сборок от попадания в них посторонних предметов (дебриз-частиц). Дебризы представляют собой металлическую стружку или кусочки металлической проволоки, которые могут попасть в реактор во время монтажных работ, технологических операций в ходе планово-предупредительного ремонта, а также в случае разрушения элементов ТВС или оборудования первого контура. Дебризы небольшого размера могут застревать между твэлами и дистанционирующими решетками (ДР) и вибрировать в потоке теплоносителя, что может приводить к протиранию оболочек и разгерметизации твэлов. Поэтому, для предотвращения их попадания в пучки твэлов, используются антидебризные фильтры (АДФ), устанавливаемые в хвостовиках ТВС.

В АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» был разработан антидебризный фильтр второго поколения (АДФ-2), при производстве которого заводом была предложена модифицированная конструкция. Далее по тексту в качестве базовой конструкции рассматривается АДФ-2 конструкции АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», под новой модифицированной конструкцией понимается АДФ-2, предложенный заводом.

В рамках представленной работы было проведено сравнение гидравлического сопротивления двух вариантов конструкции антидебризного фильтра второго поколения АДФ-2 с применением CFD. Дополнительно была проведена валидация базовой модели АДФ-2 с экспериментальными данными, полученными на стенде массового пролива кассет АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС».

Внешний вид хвостовика макета ТВС с АДФ-2 конструкции АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» и его твердотельная модель показаны на рисунке 1. Как видно из рисунка сектор симметрии АДФ-2 имеет форму параллелограмма, каждый из которых собран из перфорированных пластин, расположенных друг относительно друга под острым углом и сваренных между собой по торцам, образуя гофрированную поверхность. Для повышения жесткости конструкции сваренные между собой пластины заключены в обод.



а



б

а – фотография, б – твердотельная модель

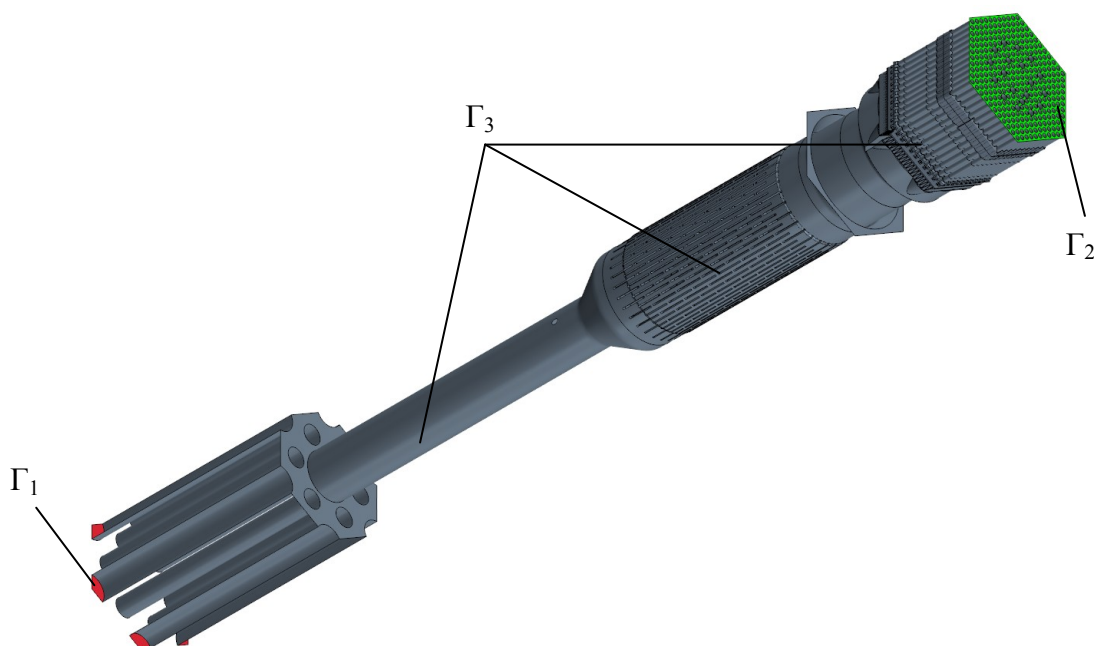
Рис. 1 Хвостовик с АДФ-2 конструкции АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

Не смотря на референтность новой (модифицированной) конструкции, у нее имеется несколько отличий от базовой конструкции, которые заключаются в следующем:

- изменилось количество перфорированных пластин в секторе симметрии;
- изменилось количество рядов отверстий в пластине.

По результатам изменений площадь проходного сечения в АДФ-2 модернизированной конструкции уменьшилось на 12%. Для определения влияния данного изменения конструкции на гидравлическое сопротивление были разработаны CFD модели входной части ТВС до середины пролета между ДР №1 и ДР №2 и включающие в себя: перфорированную опорную трубу, хвостовик с антидебризным фильтром, нижнюю опорную решетку, ДР №1, 312 твэл, 18 направляющих каналов и инструментальный канал. Отличие между CFD моделями заключается в конструкции АДФ-2.

Расчетная область охватывает входную часть ТВС до середины пролета между ДР №1 и ДР №2 и включает в себя: перфорированную опорную трубу, хвостовик с антидебризным фильтром, нижнюю опорную решетку, ДР №1, 312 твэл, 18 направляющих каналов и инструментальный канал. Расчетная область с граничными условиями представлена на рисунке 2.



поверхность Γ_1 – граничное условие на входе, поверхность Γ_2 – граничное условие на выходе, поверхность Γ_3 – стенки расчетной области

Рис. 2 Расчетная область с граничными условиями (границы симметрии не показаны)

Теплоносителем является вода с постоянными физическими свойствами, которые выбирались в соответствии с экспериментальными условиями для чисел Рейнольдса от 40000 до 160000 и при реакторных условиях (давление 16,2 МПа и температура 298,2°C) для числа Рейнольдса 450000.

Сетка расчетной области строилась с помощью встроенного сеточного генератора STAR-CCM+ на основе многогранных (polyhedral) ячеек с выделением сеточных призматических пограничных слоев. Было разработано две сеточные CFD модели, отличающиеся моделями антидебризных фильтров. Общая размерность сетки каждой модели составила ~290 млн. ячеек и ~1450 млн. вершин.

В рамках расчетного моделирования были проведены следующие работы:

- верификация расчетной модели базовой конструкции АДФ-2, продемонстрировавшая соответствие расчетных данных экспериментальным с точностью ниже погрешности измерения;
- CFD расчеты хвостовика с базовой и модифицированной конструкциями АДФ-2 в диапазоне чисел Рейнольдса от 40000 до 450000.

В качестве примера результатов расчета, на рисунке 3 приведены распределения модуля скорости статического давления для варианта с базовым АДФ-2.

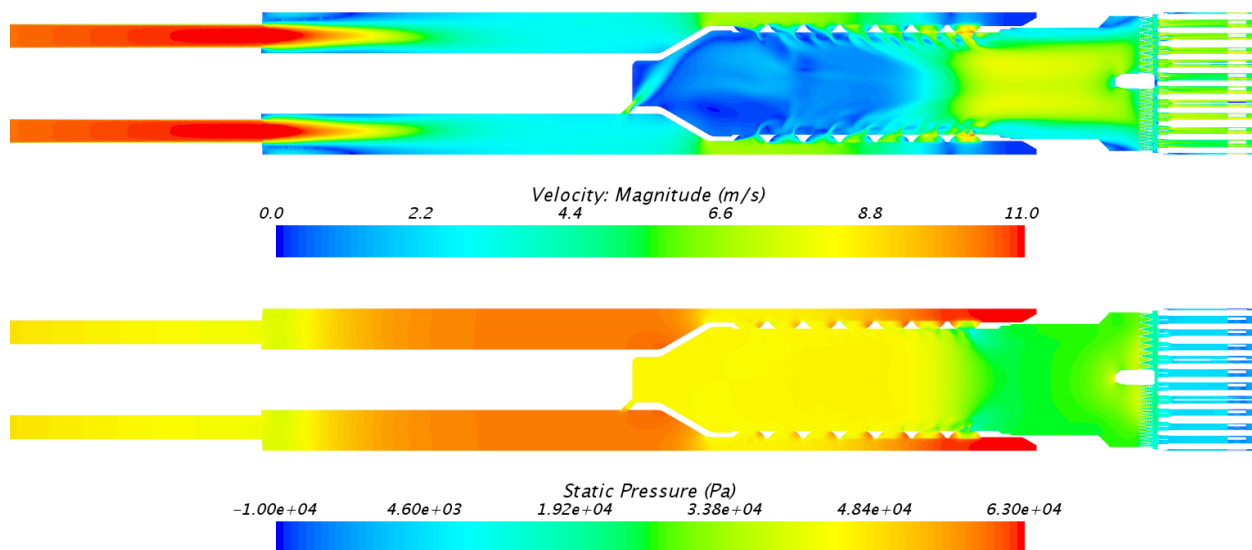


Рис. 3 Распределения модуля скорости (вверху) и статического давления (внизу) в расчетной области с базовым АДФ-2

После проведения моделирования была реализована обработка полученных полей скоростей и давления, выполнено сопоставление между собой расчетных данных для двух рассматриваемых вариантов конструкции АДФ-2 и сделано заключение о различии КГС базовой и модифицированной конструкций АДФ-2 менее чем на 1%.