

УДК 621.311.25

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК ТИПА ТВСА

Секлюцкий Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Буров А.Л.

С момента пуска первого реактора ВВЭР непрерывно совершенствуется ядерное топливо с целью повышения эффективности его использования: для увеличения выработки электроэнергии путем повышения тепловой мощности реактора, обеспечения работы АЭС в широком диапазоне маневренных режимов и др. Характер усовершенствований тепловыделяющих сборок для реакторов ВВЭР соответствует мировым тенденциям улучшения топлива водо - водяных реакторов с водой под давлением.

ОАО «ОКБМ Африкантов» проведены работы по совершенствованию конструкции ТВСА для реакторов ВВЭР. Одним из направлений совершенствования конструкции ТВСА является применение перемешивающих решеток-интенсификаторов (ПР). Основной задачей внедрения ПР является повышение теплотехнических запасов до кризиса теплоотдачи и эксплуатационной надежности за счет выравнивания температур твэлов и снижения локального паросодержания.

Применение ТВСА с перемешивающими решетками (ПР) в реакторах ВВЭР требует обоснования теплотехнической надежности активных зон и определения влияния конструкций решеток на гидродинамику и массообмен потока теплоносителя.

Обоснование теплотехнической надежности активных зон ядерных реакторов во многом базируется на теплогидравлическом расчете, что в свою очередь требует большой информативности и высокой достоверности параметров и значений локальных гидродинамических характеристик. Таким образом, надежный теплогидравлический расчет требует проведение значительного комплекса экспериментальных исследований и развитие новых методов расчета локальных гидродинамических и массообменных характеристик потока.

Весьма важной задачей перемешивающих устройств является выравнивание температур (энтальпий) по сечению сборок, улучшение ситуации в наиболее напряженных ячейках ТВС, повышение запасов до кризиса теплоотдачи и др. Это достигается использованием в решетках лопаток, дефлекторов потока и других элементов, обеспечивающих перемешивание теплоносителя в поперечном сечении ТВС. Наличие подобных элементов может привести к заметному повышению гидравлического сопротивления самой сборки, что будет являться нежелательным фактом. Поэтому, оптимальная конструкция решетки требует поиска вариантов, обеспечивающих наиболее благоприятное сочетание таких параметров, как интенсивность перемешивания, гидравлические потери и запасы до кризиса теплоотдачи.

Ввиду этого экспериментальное исследование условий и закономерностей формирования локальных и интегральных характеристик гидродинамики потока теплоносителя с получением обобщающих зависимостей является важной задачей, решение которой позволило обосновать теплотехническую надежность активной зоны реактора.

Таким образом, особенности конструкции ТВСА реактора ВВЭР - 1000 требуют детального изучения и анализа локальных характеристик межъячеечного массообмена и гидродинамических характеристик потока теплоносителя.

Учитывая сложность математического описания трехмерного течения жидкости в пучке твэлов – многосвязной области с анизотропией коэффициентов переноса, криволинейными границами и отрывами пограничного слоя, а также технические вычислительные трудности, основным методом изучения гидродинамики сборок твэлов и

активных зон реакторов в целом является экспериментальное исследование масштабных и полноразмерных моделей кассет и активных зон на аэро- и гидродинамических стендах.

Экспериментальный стенд для исследований локальных характеристик межъячеечного массообмена и гидродинамических характеристик потока теплоносителя в модели активной зоны реактора ВВЭР-1000 с ТВСА представляет собой аэродинамический разомкнутый контур, через который прокачивается воздух (рисунок 1).

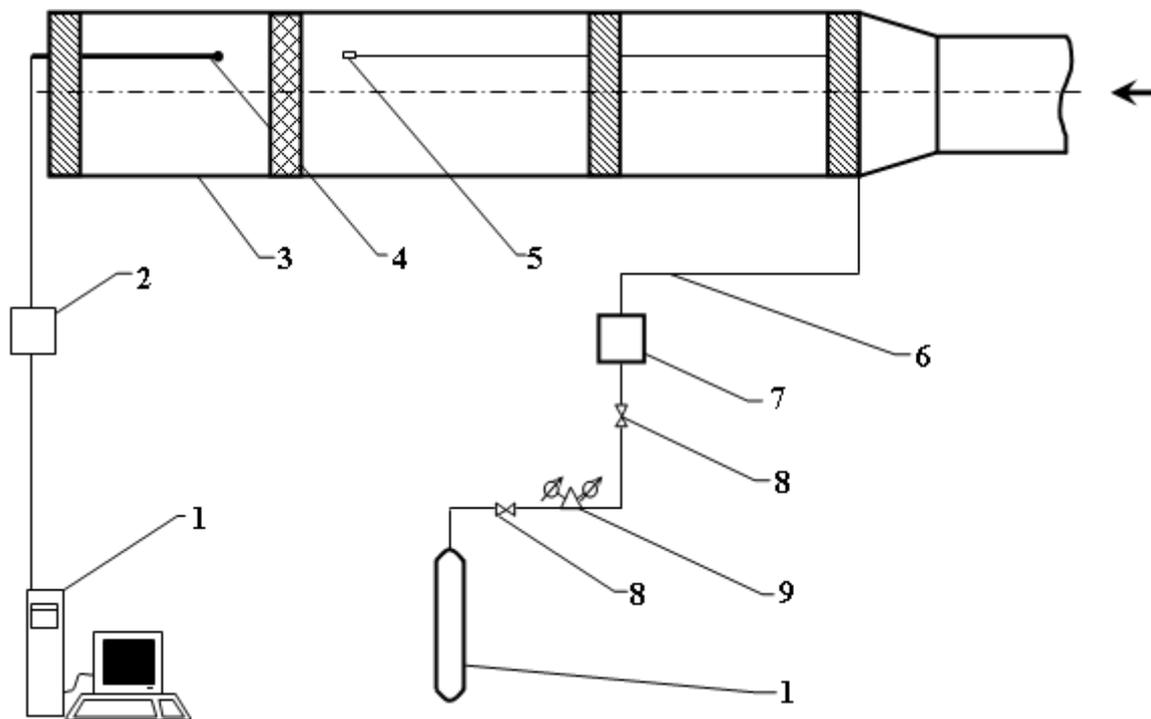


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда

1 – ЭВМ, 2 – модульный газоанализатор, 3 – экспериментальная модель, 4 – устройство отбора проб трассера, 5 – устройство ввода трассера в ячейку ЭМ, 6 – подвод трассера, 7 – расходомерное устройство, 8 – запорная и регулирующая арматура, 9 – редуктор, 10 – газовый баллон

Общий вид экспериментального стенда представлен на рисунке 2.

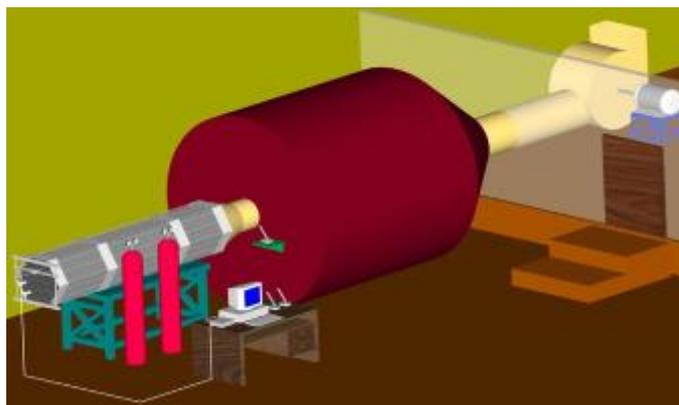


Рисунок 2 – Общий вид экспериментального стенда

В состав экспериментального стенда входят: вентилятор высокого давления, экспериментальная модель (ЭМ), расходомерное устройство с участками стабилизации потока, система подачи и отбора трассера; регулирующая арматура; измерительный комплекс.

Исследование локальных характеристик межъячеечного массообмена потока теплоносителя в экспериментальных моделях осуществлялось методом диффузии примесей (метод трассера). Данный метод основан на регистрации поперечного потока массы по некоторой переносимой субстанции (краски, соли, газа и т.д.). Принцип проведения экспериментальных исследований на экспериментальном стенде заключается в том, что поток воздуха посредством радиального вентилятора высокого давления поступает в ресиверную емкость, движется через расходомерное устройство и успокоительный участок, а затем, пройдя через ЭМ, выбрасывается в атмосферу. Трассер подается в характерную ячейку пучка твэлов в начале исследуемого участка и также выбрасывается в атмосферу вместе с газовой воздушной смесью. Выравнивание неравномерностей распределения скорости на входном участке в поперечном сечении модели осуществляется уравнивающей решеткой, установленной на входе в ЭМ.

Экспериментальная модель, представляющая собой фрагмент активной зоны реактора ВВЭР-1000 с ТВСА (рисунок 3), включает в себя сегменты трех топливных кассет и межкассетное пространство.

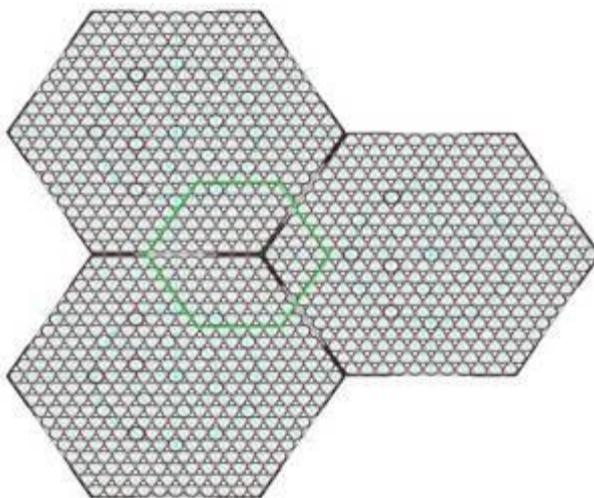


Рисунок 3 – Фрагмент активной зоны реактора ВВЭР-1000 с ТВСА

Экспериментальная модель (рисунок 4) выполнена с коэффициентом геометрического подобия  $K_r = 4,4$ , имеет длину  $L = 3$  м и состоит из следующих элементов: шестигранного чехла, девяноста четырех цилиндрических твэлов-имитаторов с описанными диаметрами  $40^{\pm 0,5}$  мм, устройства фиксации датчика, поясов дистанционирующих решеток, поясов перемешивающих решеток.

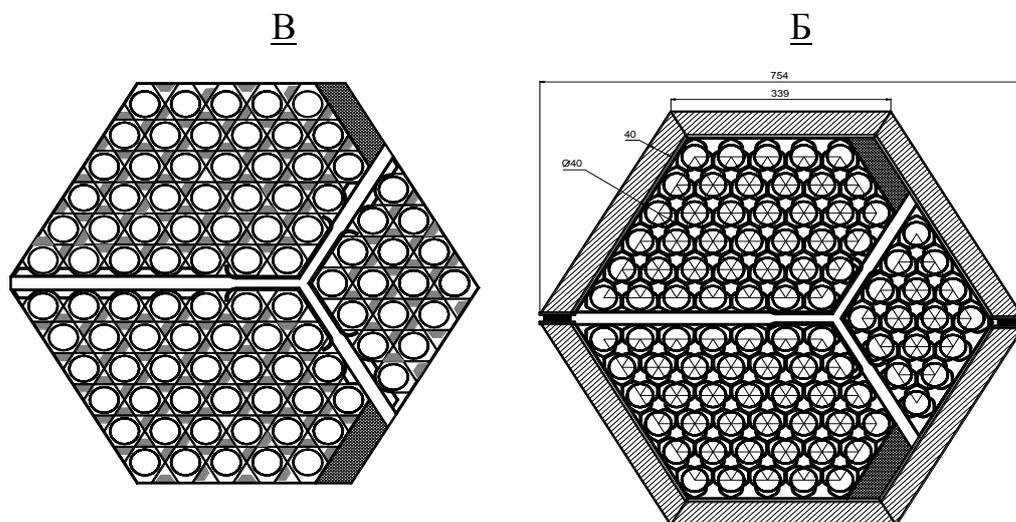


Рисунок 4 – Схема экспериментальной модели с перемешивающей решеткой типа «порядная прогонка»

Моделирование стандартных ячеек осуществляется строгим дистанционированием пучка цилиндрических твэлов-имитаторов в вершинах правильных треугольников посредством трех поясов дистанционирующих решеток.

Пояса перемешивающих решеток изготавливались из полос листового железа толщиной 1,2 мм, готовые полосы собирались соответствующим образом. Исследуемый пояс перемешивающей решетки представлен на рисунке 5. Высота ячеек перемешивающей решетки составляет 66 мм (что соответствует 15 мм натурной ПР). Перемешивающая решетка имеет турбулизирующие дефлекторы, которые улучшают перемешивание потока теплоносителя. Величина угла отгиба турбулизирующего дефлектора составляла  $30^\circ$ , а высота – 19,8 мм (что соответствует высоте 4,5 мм натурального дефлектора).

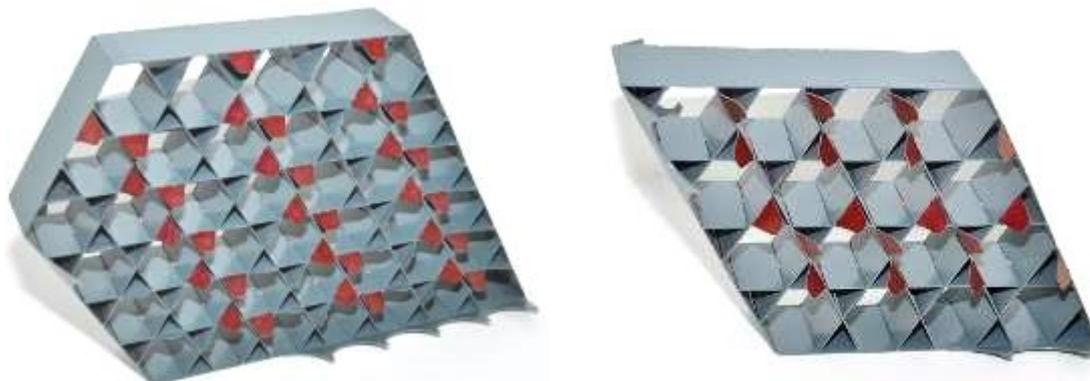


Рисунок 6 – Пояс перемешивающей решетки типа «порядная прогонка»

Подвод трассера из газового баллона осуществляется через запорную и регулирующую арматуру, расходомерное устройство и впускной зонд. Для измерения расхода газа предназначен газовый расходомер ИРГ-1000. По принципу работы прибор относится к тепловым расходомерам неконтактного типа. Эти расходомеры измеряют массовый расход газа, поэтому их показания не зависят от его давления. Предел допускаемого значения основной приведенной погрешности прибора с учетом индивидуальной градуировки равен  $\pm 1,5\%$ . Из расходомера ИРГ-1000 пропановый трассер поступает во впускной зонд, который имеет вид монолитной втулки, врезаемой в твэл в месте инъекции. Для равномерного распределения газа по сечению ячейки предусмотрены короткие Г-образные штуцеры, на выходе из которых установлены специальные рассеивающие насадки. Выходное отверстие штуцера вместе с рассеивающим насадком позиционируется по центру ячейки.

Для отбора проб трассера использовался зонд, выполненный в виде трубки Пито-Прандтля и позволяющий определять значения осевой скорости, статического и полного давлений в исследуемой точке, а также одновременно выполняющий функцию транспортного газопровода для подачи трассера в газоанализатор.

Анализ проб газовой смеси производится газоанализатором, принцип работы которого основан на измерении величины поглощения инфракрасного излучения.

Для управления и постоянного мониторинга экспериментальных данных, получаемых газоанализатором, разработан программный комплекс «ТРАССЕР-П». В программном комплексе реализованы возможности построения графика изменения концентрации в зависимости от времени, а также непосредственный мониторинг динамики изменения концентрации в режиме реального времени и записи значений в файл.

#### Литература

1. Бородин С.С. Особенности гидродинамики и массообмена теплоносителя в ТВСА-АЛЬФА реактора ВВЭР / С.С. Бородин, С.М. Дмитриев, А.Е. Хробостов. – Известия высших

учебных заведений. Ядерная энергетика, 2010. – №1.

2. Бородин С.С. Исследования массообменных характеристик и эффективности перемешивающих решеток ТВСА-АЛЬФА реакторов ВВЭР / С.С. Бородин, С.М. Дмитриев, М.А. Легчанов, А.Е. Хробостов – Труды пятой Российской национальной конференции по теплообмену в восьми томах, г. Москва, 2010., том 1, С. 177-180.