

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СМЕШЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СОВРЕМЕННЫХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

*С.М. Дмитриев, А.А. Добров, М.А. Легчанов, А.В. Рязанов, А.Н. Пронин,
Д.Н. Солнцев, А.Е. Хробостов*

*Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, Российская Федерация*

Процессы смешения неизотермических потоков существенно влияют на параметры теплоносителя на входе в активную зону, что определяет её теплотехническое состояние. На входе в реактор могут возникать неравномерные потоки теплоносителя по разным петлям, приводящие к локальным отклонениям параметров от номинальных. Процессы, протекающие при отклонении параметров теплоносителя от допустимых значений, необходимо оценивать при обосновании безопасной работы ядерных энергетических установок, поскольку они приводят к существенной неравномерности теплогидравлических характеристик в камере смешения реактора и на входе в каналы активной зоны. Такие явления нуждаются в детальном изучении при помощи CFD-кодов, которые должны проходить процедуру верификации основе представительных экспериментальных данных.

На базе кафедры «Атомные и тепловые станции» НГТУ им. Р.Е. Алексеева был создан экспериментальный стенд (рис. 1) для исследования смешения потоков в модели водо-водяного реактора с целью детального изучения процессов локального отклонения изучаемых параметров. Стенд спроектирован в виде двух контуров: исследовательского контура смешения потоков с установленной экспериментальной моделью и контура охлаждения, необходимого для отвода тепла и подготовки «холодного» теплоносителя.

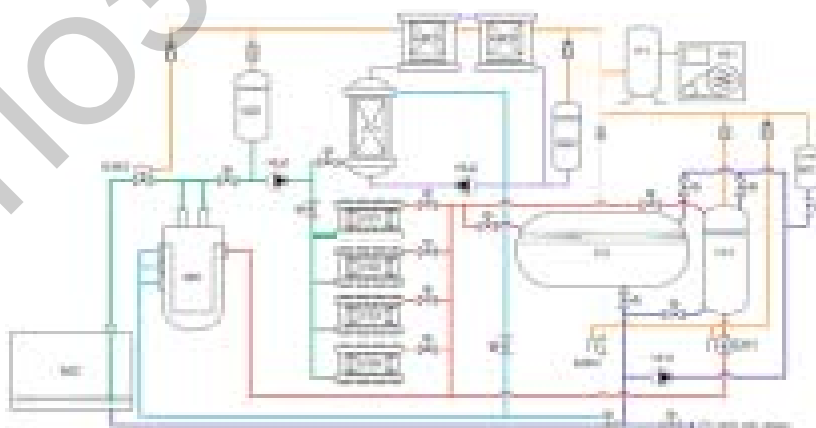


Рисунок 1 – Принципиальная схема стенда

Оборудование стенда позволяет создать режимы как ламинарные, так и турбулентные течения при различной температуре, расходах и кон-

центрации примесей в потоке теплоносителя. Параметры, при которых может осуществляться моделирование, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры экспериментального стенда

Параметр	Значение
Число имитирующих петель циркуляции теплоносителя	6
Мощность нагревательных установок (суммарная), кВт	800
Мощность контура охлаждения (максимальная), кВт	960
Расход через экспериментальную модель, м ³ /ч	до 200
Температура смешиваемых потоков, °С	15-200
Диаметры исследуемых моделей по внешней обечайке, мм	400-1500
Давление в контуре смешения потоков, кгс/см ²	до 20
Удельная электрическая проводимость теплоносителя	до 4000 мкСм/см

Экспериментальная модель (ЭМ) представлена на рис. 2. Экспериментальная модель оснащена четырьмя патрубками ввода теплоносителя, по одному из которых подается соленый поток, по трем другим дистиллированная вода. Теплоноситель проходит от входных патрубков ЭМ вниз по опускной кольцевой камере, попадает в нижнюю напорную камеру, откуда распределяется по дросселированным каналам имитаторам активной зоны. По окончании подъема в каналах имитаторов теплоноситель выходит в верхнюю сливную камеру и удаляется из модели через два выходных патрубка в крышке.



Рисунок 2 – Общий вид экспериментальной модели

Экспериментальные исследования основывались на методе пространственной кондуктометрии. Измерительная система стенда состоит из технологической части, необходимой для контроля режимных параметров работы установки, а также исследовательской части, при помощи которой выполняются замеры физических характеристик в области турбулентного

смещения потоков в модели реактора. Исследовательская часть измерительной системы основана на применении кондуктометрических датчиков сетчатой и стержневой конструкции (рис. 3).

Датчики установлены на всем протяжении опускной камеры экспериментальной модели (в трех плоскостях с азимутом 20° между соседними датчиками), а также на входе и выходе из области, имитирующей каналы активной зоны. Характеристики измерительной системы дают возможность получать частотно-энергетические характеристики флуктуаций значений локальной концентрации для последующего восстановления спектра турбулентных пульсаций в потоке.



Рисунок 3 – Исследовательская часть измерительной системы: *а* – сетчатый датчик (верхняя камера), *б* – стержневые датчики

Экспериментальные исследования проводились при различных параметрах. Изменяя два параметра – вязкость и скорость теплоносителя, удалось провести исследования в диапазоне чисел Рейнольдса от 10000 до 40000. Обработка показаний исследовательской измерительной системы позволила получить поле относительного солесодержания в экспериментальной модели на входе и выходе имитатора активной зоны экспериментальной модели (рис. 4). В ходе обработки данных эксперимента выявлено наличие закрутки потока при движении по кольцевому зазору экспериментальной модели по часовой стрелке на угол порядка 180° .

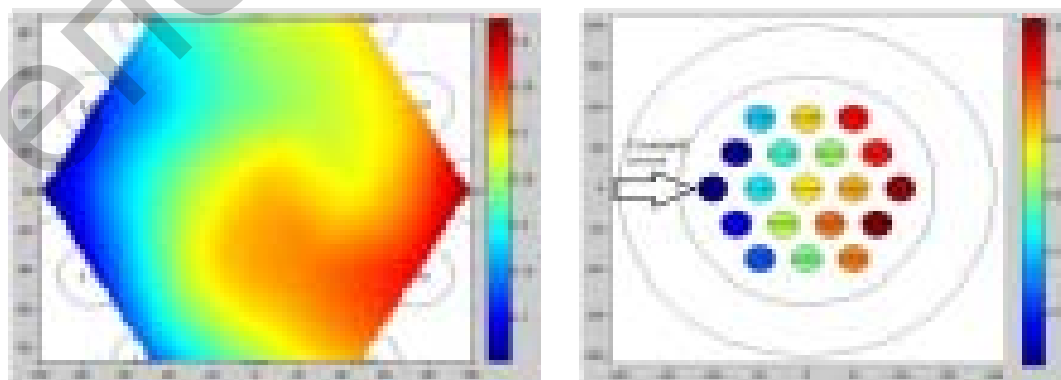


Рисунок 4 – Распределение относительной концентрации в нижней камере экспериментальной модели (а) и на выходе из каналов-имитаторов(б) ($Re=10000$, $t=20^\circ C$)

Претестовые и посттестовые CFD-расчёты позволили оценить эффективность использования моделей, заложенных в расчётные программы, а также определить явления и эффекты, которые изначально не были учтены. Таким образом, уже на данном этапе возможности стенда позволяют получить представительные экспериментальные данные, которые могут быть использованы в качестве верификационной базы для расчётных программ.

В рамках проведения следующего этапа планируется провести исследования процессов смешения теплоносителя в напорной камере реактора при варьировании критерии Рейнольдса за счет изменения скорости потока, молекулярной вязкости и гидравлического диаметра.

УДК 621.039

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ И МАССООБМЕНА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРКАХ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

*С.М. Дмитриев, Д.В. Доронков, А.Н. Пронин, А.В. Рязанов,
Д.Н. Солнцев, А.Е. Хробостов*

*Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, Российская Федерация*

Одними из задач атомной энергетики РФ являются: повышение мощности и надежности работающих АЭС, создание первой в мире плавучей АЭС и др. Привнося значительный вклад в достижение поставленных целей АО «ОКБМ Африкантов» (РФ, г. Н. Новгород) проводит разработки ТВС для реакторов различных типов. К таким кассетам относятся: ТВСА для реакторов ВВЭР-1000 и ТВС КЛТ-40С для плавучей АЭС. Перечисленные топливные сборки имеют принципиальные конструктивные отличия от других типов ТВС аналогичного назначения, что позволяет получать более высокие эксплуатационные показатели при сохранении уровня теплотехнической надежности. Конструкции ТВС предусматривают наличие решеток интенсификаторов. Таким образом, необходимы исследования, которые позволят оценить влияние решеток на поток теплоносителя, с целью выбора оптимальной конструкции с точки зрения интенсивности перемешивания и гидравлических потерь.

Для оценки влияния на поток теплоносителя различных типов решеток, в базовой научно-исследовательской лаборатории «Реакторная гидродинамика» создан экспериментальный стенд, представляющий собой аэродинамический контур через который прокачивается воздух (рис. 1).