**Кузина Юлия Альбертовна. Теплогидравлическое моделирование в обоснование активных зон реакторов типа БРЕСТ : Дис. ... канд. техн. наук : 05.14.03 : Обнинск, 2003 163 c. РГБ ОД, 61:04-5/1184**

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**ИМЕНИ А.И. ЛЕЙПУНСКОГО**

**На правах рукописи**

**КУЗИНА ЮЛИЯ АЛЬБЕРТОВНА**

**ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**В ОБОСНОВАНИЕ АКТИВНЫХ ЗОН РЕАКТОРОВ ТИПА БРЕСТ**

**Диссертация на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук**

**Специальность 05.14.03 -Ядерные энергетические установки, включая**

**проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации**

**Научный руководитель:**

**д.т.н. Сорокин Александр Павлович**

**Обнинск - 2003**

**СОДЕРЖАНИЕ**

**Слисок условных обозначений 5**

**Введение 8**

**1. Сведения о реакторах типа БРЕСТ, необходимые для их теплогидравлического обоснования. Сопоставление изучаемых проблем для реакторов типа БРЕСТ (свинцовый теплоноситель)**

**и БН (натриевый теплоноситель) 15**

**1.1. Краткие сведения по основным узлам реактора БРЕСТ-ОД-ЗОО**

**(для выявления задач по теплогидравлическому обоснованию реактора)... 15**

**1.2. Сведения об активной зоне и ее ТВС 19**

**1.2.1. Некоторые параметры сборок твэлов активной зоны реактора**

**БРЕСТ-ОД-ЗОО 19**

**1.2.2. Обоснование некоторых теплогидравлических оценок**

**по реактору БРЕСТ-ОД-ЗОО 22**

**1.3. Т еплогидравлические особенности в реакторе БРЕСТ -ОД-3 00**

**в сравнении с натриевыми реакторами 23**

**Выводы к главе 1 25**

**2. Модельные теплогидравлические сборки и техника эксперимента 26**

**2.1. Однородные модельные сборки 26**

**2.2. Конструкции модельных сборок для изучения**

**теплогидравлических неоднородностей 27**

**2.3. Тепловое моделирование твэлов реакторов типа БРЕСТ.**

**Имитаторы твэлов 31**

**2.4. Конструкция дистанционирующих решеток :....35**

**2.5. Измерение температур в моделях 37**

**2.6. Жидкометаллический стенд 6-Б 42**

**2.7. Методика проведения экспериментов 44**

**2.8. Обработка экспериментальных данных 45**

**Выводы к главе 2 51**

**з**

**\* 3. Результаты экспериментальных исследований температурных полей и**

**теплоотдачи для решеток твэлов реакторов типа БРЕСТ 53**

**3.1. Начальные тепловые участки и переменное энерговыделение 53**

**3.2. Теплоотдача и температурные поля в стабилизированной области**

**теплообмена 60**

**3.2.1. Твэлы без дистанционирующих решеток 60**

**3.2.2. Твэлы с дистанционирующими решетками 75**

**^ 3.3. Поля температуры и теплоотдача твэлов в неоднородных тепловых**

**геометрических условиях (граница подзон с разными диаметрами и энерговыделениями твэлов) 83**

**3.3.1. Неоднородная сборка с одной дистанционирующей решеткой 83**

**3.3.2. Неоднородная сборка с двумя дистанционирующими решетками 94**

**3.4. Точность экспериментальных данных 99**

**Выводы к главе 3 108**

**т**

**4. Поля скоростей в модельных сборках реактора БРЕСТ-ОД-ЗОО 112**

**4.1. Постановка задачи 112**

**4.2. Метод измерения скоростей в модельных сборках 114**

**4.3. Результаты измерений скоростей для активной зоны реактора**

**БРЕСТ-ОД-ЗОО 116**

**4.3.1. Сборка гладких имитаторов твэлов 116**

**'• 4.3.2. Сборка с одной дистанционирующей решеткой 122**

**4.3.3. Сборка с двумя дистанционирующими решетками 123**

**4.3.4. Сборка с имитатором элемента СУЗ 126**

**Выводы к главе 4 127**

**5. Расчетные исследования для ТВС реактора БРЕСТ-ОД-ЗОО**

**с использованием поканальной методики. КодТИГР-БРС 128**

**3\* 5.1. Основные характеристики расчетного кода ТИГР-БРС 128**

**5.2. Исходные уравнения, расчетные формулы 130**

**5.2.1. Уравнение баланса массы 130**

**т 5.2.2. Уравнение баланса энергии 130**

**5.2.3. Уравнение сохранения импульса 132**

**5.3. Замыкающие зависимости 133**

**5.4. Нестационарная задача теплопроводности твэла как составляющая**

**кода ТИГР-БРС 135**

**5.5. Результаты расчетов и их сравнение с экспериментальными данными 137**

**5.5.1. Расчеты для однородных условий в ТВС 137**

**^ 5.5.2. Расчеты для неоднородных тепловых условий в ТВС 140**

**5.5.3. Расчеты для неоднородных тепловых и**

**геометрических условий в ТВС 142**

**Выводы к главе 5 146**

**Выводы и заключение 147**

**Список использованных источников 150**

Выводы и заключение

1. Проведен комплекс модельных расчетно-экспериментальных исследований по теплогидравлическому обоснованию ТВС активной зоны реактора БРЕСТ-0 Д- 300, включающий в себя поля температуры и теплоотдачу разных категорий твэлов реактора (подзоны с s/d = 1,24; 1,33; 1,38 , составляющие регулярную часть решеток твэлов и границу подзон с неоднородными условиями работы твэлов - разные диаметры и энерговыделения твэлов); распределения скоростей теплоносителя в характерных каналах ТВС (включая нестандартные каналы); методы расчета теплогидравлических характеристик применительно к условиям работы реактора БРЕСТ-ОД-ЗОО и т.д. Направленность исследований определялась квадратной решеткой твэлов, используемой в реакторе БРЕСТ- ОД-ЗОО, спецификой теплоносителя и режимными условиями работы реактора.
2. Базу экспериментальных исследований составили модельные сборки имитаторов твэлов, разработанные и изготовленные с учетом теплового моделирования твэлов реактора БРЕСТ-ОД-ЗОО, которое осуществлялось достаточно строго (хорошо моделируемая композиция твэлов) при равенстве параметра эквивалентной теплопроводности твэлов и имитаторов с точностью 5 - 10 %. Тепловые измерения проводились с использованием микротермопар, гидродинамические измерения - электромагнитным методом, что предоставляло комплексную информацию о протекающих в модельных сборках теплогидравлических процессах (данная методология исследований разработана в ФЭИ и успешно применяется для теплогидравлического обоснования реакторов с жидкометаллическим охлаждением различного класса).

Моделирующий теплоноситель (эвтектический сплав натрий-калий: 22% Na + 78 % К), имеющий число Прандтля, близкое по своему численному значению к числу Прандтля свинца, обеспечивал (при относительной простоте постановки опытов) идентичность тепловых процессов, протекающих на поверхности теплообмена для свинца и сплава натрий-калий в предположении “чистоты” теплоносителей, когда на поверхности теплообмена отсутствуют физико­химические процессы, вызывающие контактные явления.

♦ Использовались модельные сборки как однородные (с одинаковым

диаметром имитаторов твэлов), так и неоднородные (с разным диаметром имитаторов). Энерговыделение имитаторов осуществлялось равномерным или скачкообразным по зонам.

1. Основными результатами тепловых исследований являются:
* Рекомендации для определения длин начальных тепловых участков при наличии и отсутствии гидродинамической стабилизации, а также для

♦, расчета единичной переходной функции применительно к квадратным

решеткам твэлов, используемые для оценок эффекта от переменного энерговыделения в отношении коэффициентов теплоотдачи.

* Универсальная обобщающая зависимость для расчета

стабилизированных чисел Нуссельта для твэлов без дистанционирующих решеток, с одной дистанционирующей решеткой и двумя

дистанционирующими решетками при перекрытиях проходного сечения

* под теплоноситель єр = 10 и 20 %. Зависимость получена для широкого диапазона изменения параметров (s/d и Ре), включающего значения параметров для реактора БРЕСТ-ОД-ЗОО, и демонстрирует предельный переход к числам Нуссельта для ламинарного режима течения.

Наличие дистанционирующих решеток не приводит к

дополнительному перегреву оболочек твэлов в районе решеток ввиду увеличивающейся теплоотдачи.

* • Обобщающая зависимость для расчета максимальных стабилизированных

периодических неравномерностей температуры по периметру твэлов применительно к различным зонам твэлов реактора БРЕСТ-ОД-ЗОО. Как и для теплоотдачи, обобщенная зависимость демонстрирует предельный переход к значениям, характерным для ламинарного режима течения.

* Рекомендации для расчета общих неравномерностей температуры, возникающих по периметру твэлов на границе подзон с разными

ф диаметрами и энерговыделениями твэлов. Общие неравномерности, как

правило, превышают периодические. Общая неравномерность температуры по периметру твэлов в модельной сборке с двумя дистанционирующими

решетками примерно в 2 раза меньше, чем в сборке с одной дистанционирующей решеткой.

• Оценка точности экспериментальных данных свидетельствует о том, что предельная относительная погрешность определения коэффициента теплоотдачи составляет ~ ±15 %; общей неравномерности температуры ~ ±2%; периодической неравномерности температуры ~ ±7%. Погрешность обобщенных зависимостей для этих величин составляет соответственно ± 16, ± 5 и ± (15 - 20)%.

1. Гидродинамические исследования предоставили данные о развитии полей скорости по периметру твэлов в азимутальном направлении (в ячейках) и по длине энерговыделения. В сборке с имитаторами без дистанционирующих решеток распределение скоростей теплоносителя формируется по подзонам согласно геометрии сборки: в более затесненной зоне скорость меньше, в более открытой зоне - больше. Соответственно формируются амплитуды скоростей в четырехугольной ячейке. Наличие дистанционирующей решетки меняет распределение скоростей в районе решетки - скорости в затесненной зоне больше, чем в открытой зоне. Наличие двух дистанционирующих решеток способствует уменьшению неоднородности течения, хотя полностью ее не устраняет. Общая неравномерность скорости в сборке с двумя дистанционирующими решетками несколько меньше, чем в сборке с одной решеткой.

Распределение скоростей теплоносителя в сборке с имитатором элемента СУЗ формируется согласно геометрии нестандартного канала с эллипсными вытеснителями.

Распределение скоростей подтверждают соответствующие распределения температуры в сборках.

1. Разработанная стационарная часть расчетного кода ТИГР-БРС базируется на поканальной методике и позволяет рассчитывать распределение полей скорости и температуры теплоносителя как в регулярной решетке твэлов, так и в нестандартных ячейках активной зоны реактора БРЕСТ-ОД-ЗОО. Разработанный блок для расчета распределения температуры в твэле основан на решении нестационарного неосесимметричного уравнения теплопроводности. Расчеты по коду ТИГР-БРС, сопоставленные с экспериментальными данными, полученными на однородных и неоднородных модельных сборках, показали согласие результатов.
2. Вышеописанные данные непосредственно используются для оценок температурных и гидродинамических режимов реакторов типа БРЕСТ, а также для верификации расчетных кодов по теплогидравлическому обоснованию активных зон этих реакторов.