

УДК 621.039

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ И МАССООБМЕНА ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРКАХ РЕАКТОРОВ ТИПА PWR

© 2011 г. С.М. Дмитриев, М.А. Легчанов, В.Д. Сорокин, А.Е. Хробостов

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

dmitriev@nntu.nnov.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Приведены результаты экспериментальных и расчетных исследований локального массообмена и гидродинамики потока теплоносителя в тепловыделяющей сборке с перемешивающей дистанционирующей решеткой реакторов типа PWR. Исследования проводились на аэродинамическом стенде методом диффузии газового трассера на масштабной экспериментальной модели. По результатам проведенных исследований получена зависимость коэффициента межканального обмена по длине экспериментальной модели.

Ключевые слова: ядерный реактор, тепловыделяющая сборка, гидродинамика теплоносителя, межканальный массообмен, перемешивающая решетка.

Российская топливная компания «ТВЭЛ» выходит на западный рынок ядерного топлива. Для достижения этой цели в ОАО «ОКБМ Африкантов» была разработана конструкция ТВС-КВАДРАТ для активной зоны реактора типа PWR. Она является конкурентоспособной с зарубежными аналогами по надежности, безопасности, экономичности и технологичности. В данной конструкции применяются перемешивающие дистанционирующие решетки (ПДР), которые турбулизируют поток теплоносителя и интенсифицируют теплообмен.

Для обоснования теплотехнической надежности активной зоны реактора PWR были реализованы экспериментальные исследования локального массообмена и гидродинамики потока теплоносителя в модели фрагмента ТВС-КВАДРАТ методом диффузии газового трассера. Исследования проводились на аэродинамическом стенде с постановкой масштабной экспериментальной модели (ЭМ) (рис. 1), которая представляет собой фрагмент ТВС-КВАДРАТ реактора типа PWR [1].

Пояс перемешивающей дистанционирующей решетки представляет собой квадратную пластинчатую решетку, набранную из взаимно-перпендикулярных пластин. Верхние кромки пластин ПДР снабжены дефлекторами, которые улучшают перемешивание потока теплоносителя, таким образом, что на каждый твэл приходится по два дефлектора, расположенных диагонально.

Для обоснования представительности экспериментальных исследований гидродинамических характеристик в модели фрагмента ТВС-КВАДРАТ необходимо соблюдение равенства местного гидравлического сопротивления натурной перемешивающей дистанционирующей решетки и перемешивающей дистанционирующей решетки экспериментальной модели. На рис. 2 приведен график зависимости коэффициента местного гидравлического сопротивления ПДР от числа Рейнольдса Re . По результатам проведенных исследований коэффициент гидравлического сопротивления перемешивающей решетки с дефлекторами типа $9/25^\circ$ в зоне автомодельного течения со-

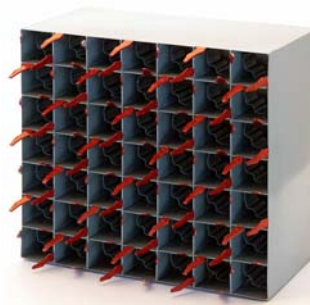
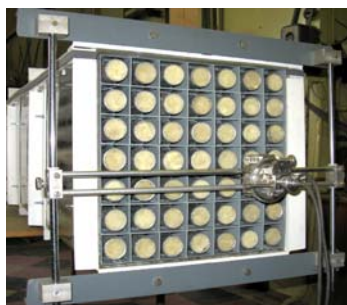


Рис. 1

ставил значение, равное 1.06. Полученное значение соответствует гидравлическому сопротивлению натурной перемешивающей дистанционирующей решетки.

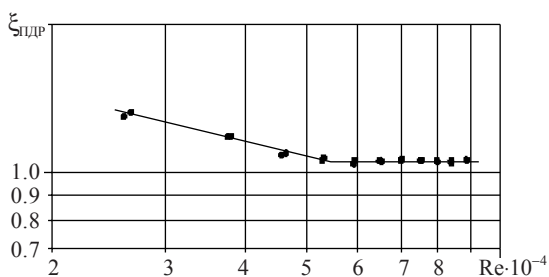


Рис. 2

Для получения наиболее полного представления о характере течения теплоносителя были проведены экспериментальные исследования локальных гидродинамических характеристик потока теплоносителя в стандартной ячейке за дефлекторами ПДР. По полученным данным были построены графики и картограммы распределения проекций составляющих абсолютной скорости W_x , W_y , W_z , отнесенных к среднерасходной скорости. В качестве примера на рис. 3 представлена картограмма аксиальной составляющей вектора скорости за турбулизирующими дефлекторами ПДР.

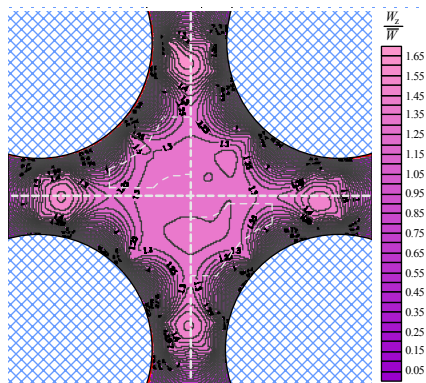


Рис. 3

Для исследований локальных характеристик межъячеечного массообмена потока теплоносителя в модели фрагмента ТВС-КВАДРАТ применялся метод диффузии примесей [2]. По результатам исследований массообмена в ТВС-КВАДРАТ были получены экспериментальные данные распределения концентраций трассера по длине

ЭМ. Для анализа этих данных была разработана математическая модель описания и произведен расчет, в результате которого было получено необходимое значение осредненного по длине сборки коэффициента межканального обмена.

На основе комплексного анализа расчетных и экспериментальных данных по исследованию характеристик межъячеечного массообмена и гидродинамики потока теплоносителя в ТВС-КВАДРАТ с ПДР сделаны следующие основные выводы:

1. За дефлекторами перемешивающей дистанционирующей решетки происходит направленное, постепенно затухающее движение трассера, обусловленное соответствующим расположением дефлекторов.

2. Экспериментально определено, что не весь поток теплоносителя движется в направлении, определенном дефлектором. Часть трассера передается в соседние ячейки за счет турбулентного массообмена, имеющего значительно большую величину за перемешивающей дистанционирующей решеткой вследствие дополнительной турбулизации потока.

3. Определено расстояние, на котором происходит эффективное перемешивание трассера в поперечном сечении для ПДР, и оно составило $\Delta l/d \approx 27 \div 29$.

4. Затухание возмущений массообменных процессов за перемешивающей решеткой происходит на большем расстоянии по сравнению с затуханием поперечных скоростей потока, возникающих за турбулизирующими дефлекторами.

Полученные результаты используются для оценки эффективности перемешивающих дистанционирующих решеток ТВС-КВАДРАТ в разрабатываемых прикладных программах и являются базой данных при расчетах теплотехнической надежности активных зон с ТВС-КВАДРАТ.

Список литературы

1. Бородин С.С. и др. Особенности гидродинамики теплоносителя в альтернативных ТВС реакторов ВВЭР-1000 при использовании перемешивающих решеток // Ядерная энергетика. 2006. №4. С. 70–76.
2. Дмитриев С.М. и др. Экспериментальные исследования эффективности перемешивания теплоносителя в обоснование выбора оптимальной конструкции ТВСА для внедрения в реакторы типа ВВЭР // Ядерная энергетика. 2009. №1. С. 88–97.

**EXPERIMENTAL AND SETTLEMENT RESEARCHES OF LOCAL HYDRODYNAMICS
AND MASS-TRANSFER OF HEAT-TRANSFER FLOW IN FA OF PWR-TYPE REACTORS**

S.M. Dmitriev, M.A. Legchanov, V.D. Sorokin, A.E. Khrobostov

The results of experimental and settlement researches of local hydrodynamics and mass-transfer of heat-transfer flow in FA with mixing ranging grid of PWR-type reactors are submitted. Researches were performed at the aerodynamic stand by a diffusion method of gaseous marker at scaled experimental model. By results of performed researches the dependence of coefficient of intercanal transfer on the length of experimental model was established.

Keywords: nuclear reactor, fuel assembly, hydrodynamics of heat transfer, intercanal mass transfer, mixing grid.