

УДК 621.039

**ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И МАССООБМЕННЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТВСА-АЛЬФА РЕАКТОРОВ ВВЭР  
ПРИ ПОСТАНОВКЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ РЕШЕТОК ТИПА  
«ПОРЯДНАЯ ПРОГОНКА»**© 2011 г. *С.С. Бородин, А.В. Варенцов, А.А. Добров, Д.В. Доронков, Д.Н. Солнцев*

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

borodinss@mail.ru

*Поступила в редакцию 15.06.2011*

Представлены результаты и анализ экспериментальных данных по исследованию массообмена и гидродинамики потока теплоносителя в ТВСА-АЛЬФА реакторов типа ВВЭР с системой поясов перемешивающих решеток типа «порядная прогонка».

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

В последние годы все больше внимания уделяется модернизации и совершенствованию тепловыделяющих сборок с целью создания реакторных установок, способных работать на более высоком уровне мощности и с повышенной безопасностью. Увеличение единичной мощности и, вместе с тем, безопасность реактора зависят от эффективной эксплуатации тепловыделяющих сборок.

В ОАО «ОКБМ Африкантов» была разработана конструкция ТВСА для реакторов ВВЭР-1000, которая успешно зарекомендовала себя в процессе эксплуатации на действующих энергоблоках. Для повышения конкурентоспособности по сравнению с зарубежными аналогами было принято решение о проведении модернизации ТВСА. В современных конструкциях ТВС применяются перемешивающие решетки (ПР), которые позволяют улучшить перемешивание теплоносителя между ячейками и турбулизовать поток в пределах отдельных ячеек. Для получения высокой интенсивности межъячейкового массообмена в ТВСА-АЛЬФА было предложено использовать перемешивающие решетки типа «порядная прогонка», которые устанавливаются с поворотом каждой решетки относительно предыдущей на угол  $60^\circ$  по часовой стрелке, изменяя тем самым направление движения теплоносителя.

Для обоснования теплотехнической надежности активных зон реакторных установок при постановке ТВСА с перемешивающими решетками типа «порядная прогонка» необходимо определить влияние конструкции решеток на гидродинамику и массообмен потока теплоносителя. Оп-

тимальная конструкция перемешивающей решетки требует поиска вариантов, обеспечивающих наиболее благоприятное сочетание таких параметров, как интенсивность перемешивания, гидравлические потери и запасы до кризиса теплоотдачи.

Для исследований локальных характеристик межъячейкового массообмена и гидродинамики потока теплоносителя был разработан и создан аэродинамический стенд [1]. Исследования проводились в 61-стержневой модели фрагмента ТВСА, которая выполнена с соблюдением полного геометрического подобия и включает в себя твэлы-имитаторы, пояса дистанционирующих и перемешивающих решеток (рис. 1).

Все экспериментальные исследования проводились в диапазоне чисел Рейнольдса  $Re$  от  $8 \cdot 10^4$  до  $1 \cdot 10^5$  на участке автомодельного течения теплоносителя, что подтверждено соответствующими исследованиями. Кроме того, для обоснования представительности экспериментальных исследований было подтверждено, что в области автомодельного течения теплоносителя коэффициенты гидравлического сопротивления перемешивающих решеток экспериментальной модели соответствуют коэффициентам гидравлического сопротивления натуральных решеток (рис. 2).

Исследование локальных характеристик межъячейкового массообмена потока теплоносителя в модели ТВСА-АЛЬФА осуществлялось методом диффузии примесей (метод трассера). Метод основан на регистрации поперечного потока массы по некоторой переносимой субстанции (краски, соли, газа и т.д.). Применение этого

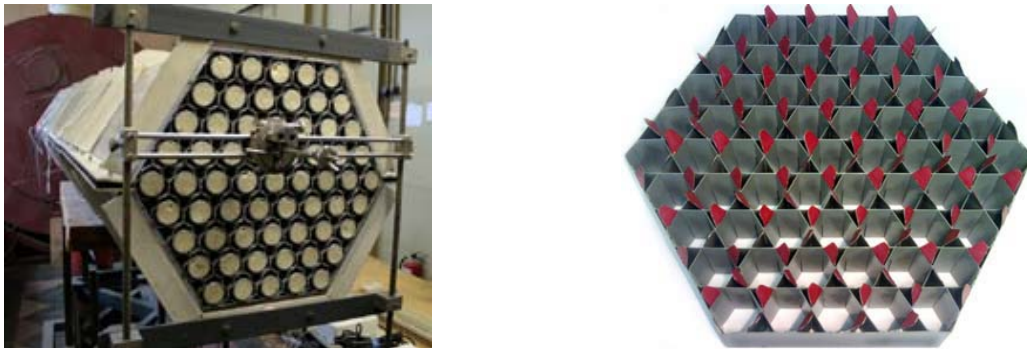


Рис. 1

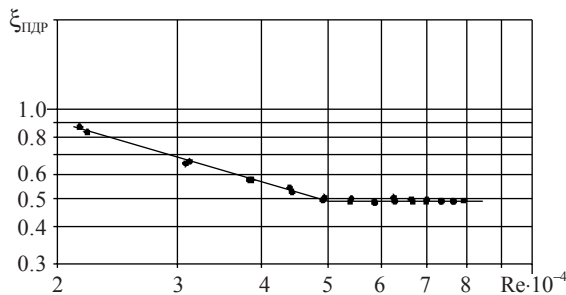


Рис. 2

метода позволило получить данные распределения концентрации трассера по длине экспериментальной модели для характерных зон поперечного сечения при постановке пояса перемешивающей решетки типа «порядная прогонка» по которым были построены графики и картограммы (рис. 3).

дой ячейки переходит в соседнюю ячейку, смешиваясь при этом с основным осевым потоком.

2. Изменение концентрации трассера в ячейках показывает, что не весь поток теплоносителя движется по направлению рядного расположения дефлекторов. Часть трассера передается в соседние ячейки за счет турбулентного массообмена, имеющего значительно большую величину за ПР, вследствие дополнительной турбуликации потока.

3. Расположение дефлекторов ПР типа «порядная прогонка» приводит к структуре течения за решеткой, в которой твэлы, омываемые потоком, расположены в одном ряду. Направленный поток теплоносителя, в основном, омывает только половину смоченного периметра твэлов данного ряда. Другую половину смоченного периметра твэлов омывает обратно направленный поток

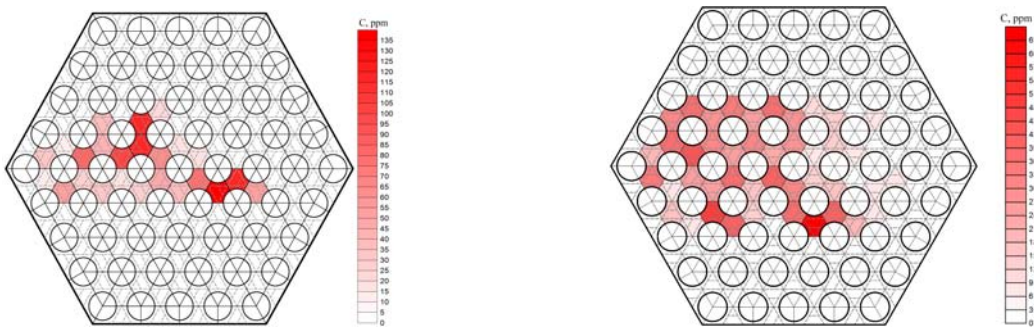


Рис. 3

На основе комплексного анализа экспериментальных данных по исследованию характеристик межъячеечного массообмена и гидродинамики потока теплоносителя в ТВСА-АЛЬФА с ПР типа «порядная прогонка» сделаны следующие основные выводы:

1. Отклоненный дефлектором поток приобретает поперечные составляющие скорости на выходе из перемешивающей решетки. Далее, посредством механизма конвективного переноса, часть поперечного потока теплоносителя из каж-

теплоносителя в соседнем ряду.

4. Затухание возмущений массообменных процессов за ПР происходит на расстоянии  $\Delta l/d \approx 21-23$ , в то время как затухание поперечных скоростей потока за турбулизирующими дефлекторами ПР происходит на значительно меньшем расстоянии  $l/d = 2-3.5$  [2]. Конвективные потоки, создаваемые дефлекторами, также турбулизируют течение за перемешивающей решеткой, что способствует увеличению диффузионного массообмена за поясом ПР.

*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. Бородин С.С. и др. Особенности гидродинамики и массообмена теплоносителя в ТВСА-АЛЬФА реакторов ВВЭР // Ядерная энергетика. 2010. №1. С. 42–48.

**RESEARCHES OF HYDRODYNAMIC AND MASS-TRANSFER CHARACTERISTICS OF HEAT-TRANSFER IN ALTERNATIVE FA (FA ALPHA) OF VVER-TYPE REACTORS AT ERECTION OF SYSTEM OF MIXING GRIDS «FLOWING ALONG THE ROD LINES» TYPE**

*S.S. Borodin, A.V. Varentsov, A.A. Dobrov, D.V. Doronkov, D.N. Solntsev*

The results and analysis of experimental data on investigation of the local mass-transfer and hydrodynamics of heat-transfer flow in alternative fuel assembly of reactor VVER at use of system of mixing grids «flowing along the rod lines» type are submitted.

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