

# **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ТВСА ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ В РЕАКТОРЫ ТИПА ВВЭР**

**С.М. Дмитриев, С.С. Бородин, А.Н. Ершов, М.А. Легчанов,**

**Д.А. Нырков, Д.Н. Солнцев, А.Е. Хробостов**

*Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева,  
г. Нижний Новгород*



Представлены результаты и анализ экспериментальных данных по исследованию локального массообмена и гидродинамики потока теплоносителя в ТВСА реакторов типа ВВЭР с поясами перемешивающих решеток различной конструкции.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Перспективным направлением развития атомной энергетики является создание реакторных установок ВВЭР, работающих на более высоком уровне мощности при одновременных нагрузках с уменьшенной утечкой нейтронов и более продолжительным топливным циклом. Для решения этих задач требуется улучшение теплогидравлических характеристик самих тепловыделяющих сборок, которое может быть достигнуто за счет как размещения на дистанционирующих решетках интенсификаторов теплосъема, так и использования отдельно установленных перемешивающих решеток.

Одним из вариантов модернизации ТВСА реактора ВВЭР является применение перемешивающих решеток (ПР), которые позволяют улучшить перемешивание теплоносителя между ячейками и турбулизовать поток в пределах отдельных ячеек [1]. Для получения высокой интенсивности межъячейкового массообмена в ТВСА было предложено использовать два конструктивно различных типа перемешивающих решеток: ПР типа «закрутка вокруг твэла» потока теплоносителя и ПР типа «порядная прогонка».

Для обоснования теплотехнической надежности активных зон РУ ВВЭР с ТВСА с различными типами перемешивающих решеток необходимо определить влияние конструкции ПР на гидродинамику и массообмен потока теплоносителя. Для оптимальной конструкции ПР необходим поиск вариантов, обеспечивающих наиболее благоприятное сочетание таких параметров как интенсивность перемешивания, гидравлические потери и запасы до кризиса теплоотдачи.

---

© С.М. Дмитриев, С.С. Бородин, А.Н. Ершов, М.А. Легчанов, Д.А. Нырков, Д.Н. Солнцев, А.Е. Хробостов, 2009

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования локальных характеристик межъячеечного массообмена потока теплоносителя проводились на аэродинамическом стенде методом диффузии газового трассера на нескольких масштабных экспериментальных моделях (ЭМ): на 19-стержневой модели фрагмента ТВСА (рис. 1а), на 57-стержневой модели фрагмента активной зоны реактора ВВЭР (рис. 1б), включающей в себя сегменты трех топливных кассет ТВСА и межкассетное пространство, и на 61-стержневой модели фрагмента ТВСА (рис. 1в). Все ЭМ выполнены с соблюдением полного геометрического подобия и включают в себя твэлы-имитаторы, пояса дистанционирующих и перемешивающих решеток (рис. 2).

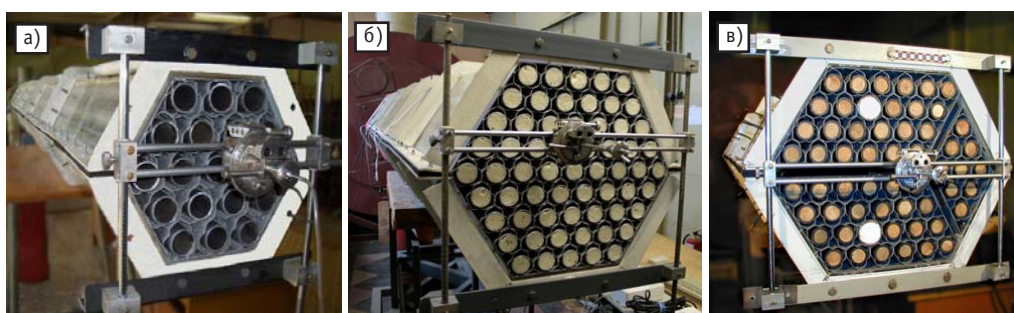


Рис. 1. Экспериментальные модели

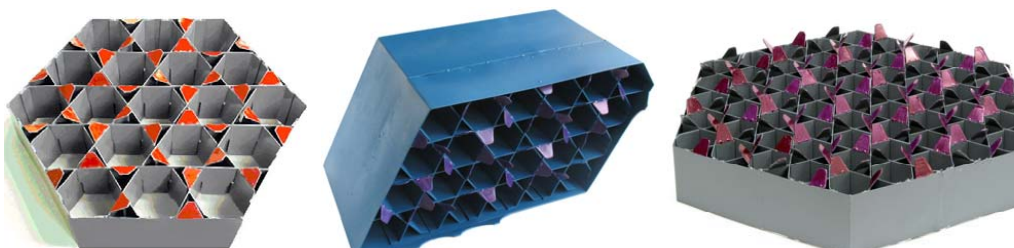


Рис. 2. Исследуемые пояса перемешивающих решеток экспериментальных моделей

Для изучения массообмена теплоносителя сконструирован и изготовлен отборный зонд, позволяющий определять значения осевой скорости, статического и полного давлений в исследуемой точке, а также одновременно выполняющий функцию транспортного газопровода для пробы трассера в газоанализатор. Для измерения концентрации углеводородов  $C_nH_m$  в газовой смеси использовался газоанализатор, 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.

Для представительности экспериментальных исследований гидродинамических характеристик ЭМ необходимо соблюдение равенства местного гидравлического сопротивления натурных перемешивающих решеток и гидравлического сопротивления перемешивающих решеток экспериментальной модели. В области автомо-

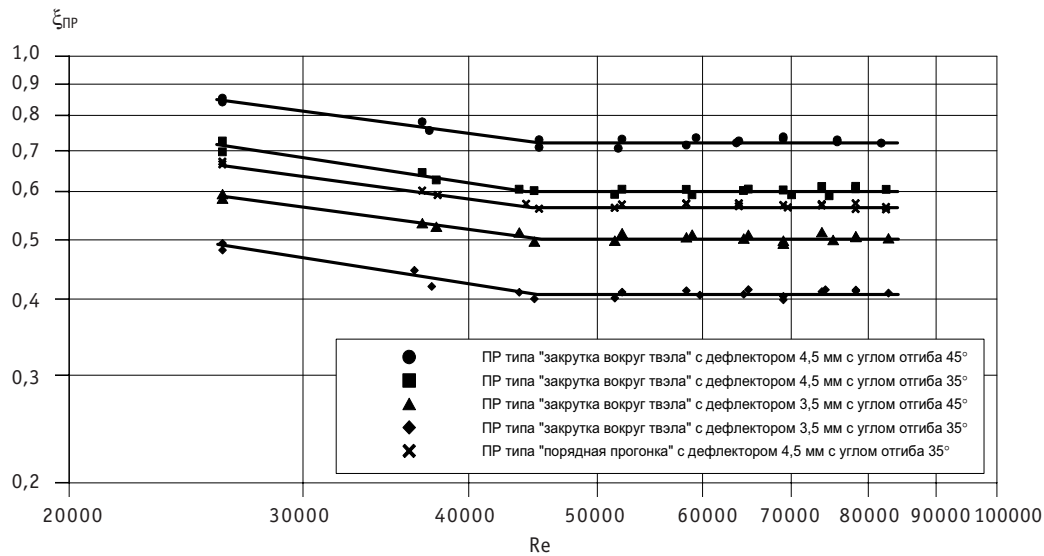


Рис. 3. Зависимость коэффициента местного гидравлического сопротивления поясов перемешивающих решеток различных типов от числа Re

дельного течения теплоносителя коэффициенты гидравлического сопротивления перемешивающих решеток ЭМ различной конструкции составили  $\xi_{\text{пр}}^{\text{ЭМ}} = 0,41\text{--}0,72$  (рис. 3), что соответствует коэффициентам гидравлического сопротивления натурных решеток с различными углами отгиба и высотой дефлекторов.

Все экспериментальные исследования проводились в диапазоне чисел Re от  $8 \cdot 10^4$  до  $1 \cdot 10^5$  на участке автомодельного течения теплоносителя, что подтверждено соответствующими исследованиями.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ТРАССЕРА В ГЛАДКОМ ПУЧКЕ В 19-СТЕРЖНЕВОЙ МОДЕЛИ ФРАГМЕНТА ТВСА

Для представительности проводимых экспериментальных исследований было изучено распространение потока теплоносителя в гладком пучке 19-стержневой модели фрагмента ТВСА. Полученные результаты по распределению концентрации пропана в гладком пучке позволили определить зависимость для нахождения коэффициента турбулентного обмена для гладкого пучка.

Исходя из соображений общности, результаты измерений концентраций трассера на исследованных моделях приведены к безразмерному виду по зависимости

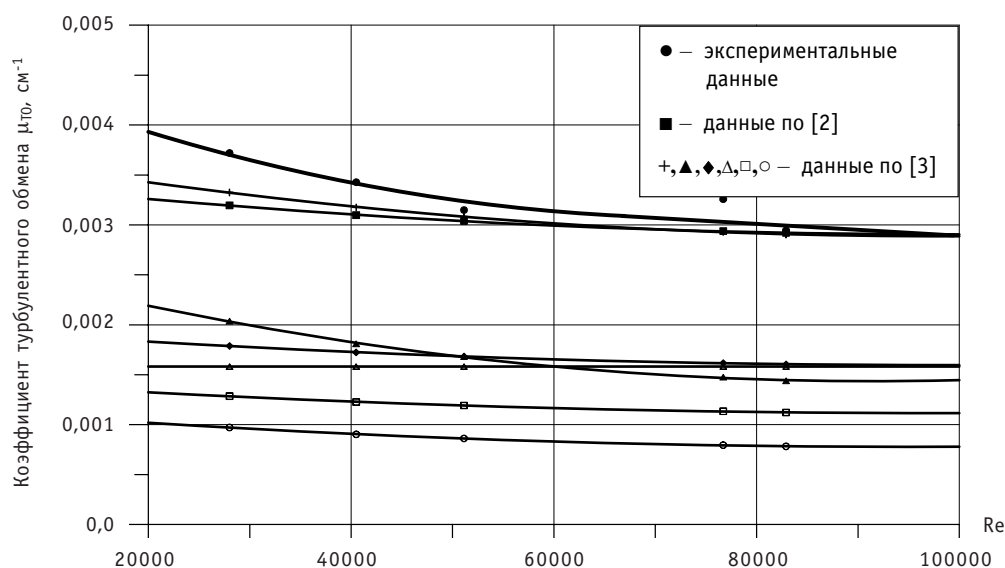
$$c_i = C_i / C_{\text{max}} \quad (1)$$

где  $c_i$  – относительная концентрация трассера в  $i$  ячейке;  $C_i$  – концентрация трассера в ячейке измерения, ppm;  $C_{\text{max}}$  – максимальная концентрация трассера в первой по направлению течения потока точке измерения, ppm.

Из анализа данных следует, что изменение относительной концентрации по длине для различных чисел Рейнольдса (кроме режима с  $\text{Re}=82900$ ) практически не зависит от уровня концентрации в ячейке подачи.

Обработка полученных результатов методом наименьших квадратов позволила определить зависимость для нахождения коэффициента турбулентного обмена  $\mu_{\text{то}}$  в гладком пучке:

$$\mu_{\text{то}} = \frac{0,039}{d_{\text{тв}} \cdot \text{Re}^{0,1}} \quad (2)$$

Рис. 4. График зависимости коэффициента турбулентного обмена от числа  $Re$ 

Формула (2) справедлива для  $s/d=1,4$  в диапазоне чисел  $Re=2 \cdot 10^4 - 10^5$ .

Как видно из графика (рис. 4), полученная зависимость достаточно хорошо согласуется с данными [2] особенно в автомодельной области течения.

Проведенные исследования показали, что в гладком пучке твэлов распространение трассера в результате турбулентного массообмена на исследуемой длине осуществляется только в ячейки, непосредственно примыкающие к ячейке инъекции.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ТРАССЕРА В 19- И 61-СТЕРЖНЕВОЙ МОДЕЛЯХ ФРАГМЕНТА ТВСА ПРИ ПОСТАНОВКЕ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ РЕШЕТОК ТИПА «ЗАКРУТКА ВОКРУГ ТВЭЛА» С РАЗЛИЧНЫМИ ДЕФЛЕКТОРАМИ**

Экспериментальные исследования распределения концентрации трассера в характерных зонах проводились на 19-стержневой модели фрагмента ТВСА при постановке поясов перемешивающих решеток типа «закрутка вокруг твэла» с длиной дефлекторов 3,5 и 4,5 мм и с углами отгиба 35 и 45° при числе  $Re = 77830$  и на 61-стержневой модели фрагмента ТВСА с длиной дефлекторов 3,5 мм и с углами отгиба 35° при числе  $Re = 105000$ .

Анализ результатов экспериментального исследования локального массопереноса трассера в характерных зонах ТВСА показал

- за дефлекторами перемешивающей решетки типа «закрутка вокруг твэла» происходит винтообразное постепенно затухающее движение трассера, обусловленное закруткой потока посредством турбулизирующих дефлекторов (рис. 5);
- не весь поток теплоносителя движется вокруг инжектируемого твэла – часть трассера передается в соседние ячейки за счет турбулентного массообмена, имеющего значительно большую величину за ПР, вследствие дополнительной турбулизации потока (рис. 6);
- эффективное перемешивание трассера в поперечном сечении 19-стержневой модели заканчивается на расстоянии  $l/d \approx 18-20$  после ПР типа «закрутка вокруг твэла» с дефлектором 4,5 мм и углом отгиба 45°, на расстоянии  $l/d \approx 20-21$  после ПР с дефлектором 4,5 мм и углом отгиба 35° и на расстоянии  $l/d \approx 25-27$  после ПР с дефлекторами 3,5 мм и углами отгиба 35–45°;

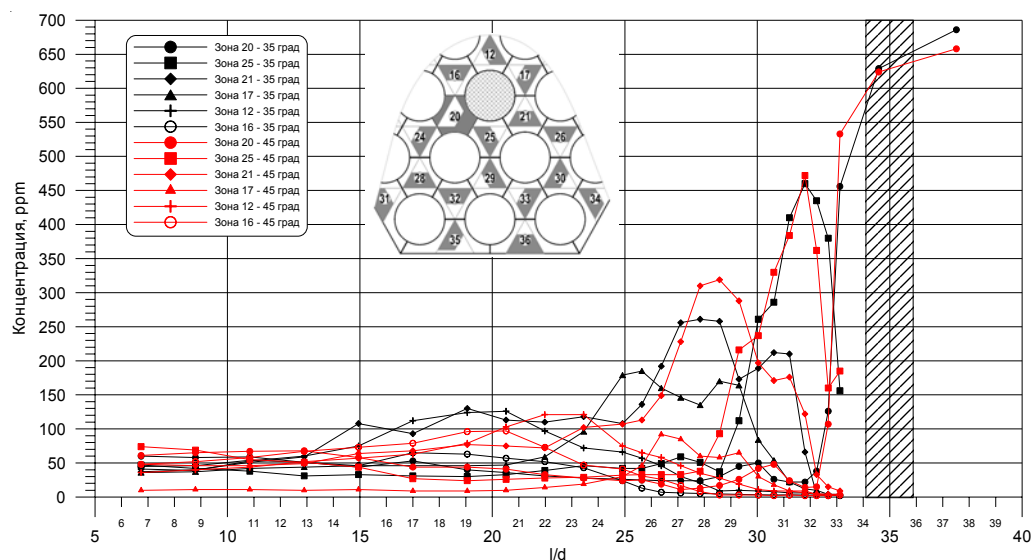


Рис. 5. График изменения концентрации трассера по длине 19-стержневой модели в ячейках, прилежащих к инжектируемому твэлу, при постановке перемешивающих решеток типа «закрутка вокруг твэла»

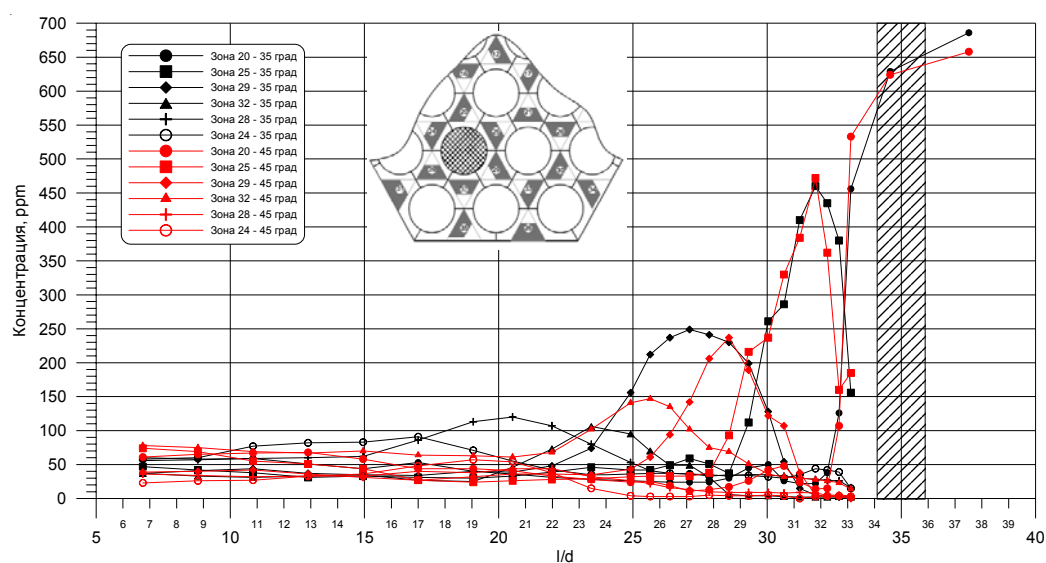


Рис. 6. График изменения концентрации трассера по длине 19-стержневой модели вокруг твэла, соседнего с инжектируемым, при постановке перемешивающих решеток типа «закрутка вокруг твэла»

- затухание возмущений массообменных процессов за ПР происходит на большем расстоянии ( $l/d \approx 18-25$ ) по сравнению с затуханием поперечных скоростей потока, возникающих за турбулизирующими дефлекторами ПР ( $l/d \approx 2-3,5$ ) [4];
- эффективное перемешивание в поперечном сечении 61-стержневой модели ЭМ происходит на расстоянии  $\Delta l/d \approx 14-16$  после перемешивающей решетки типа «закрутка вокруг твэла» с дефлектором высотой 4,5 мм и углом отгиба  $35^\circ$  (рис. 7).

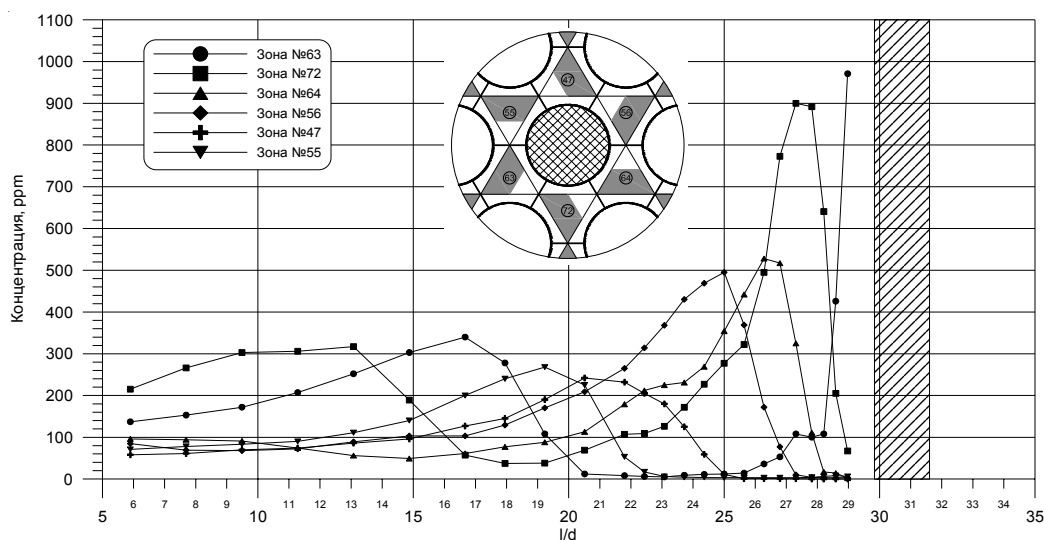


Рис. 7. График изменения концентрации трассера по длине 61-стержневой модели в ячейках, прилежащих к инжектируемому твэлу, при постановке перемешивающих решеток типа «закрутка вокруг твэла»

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ТРАССЕРА В 19-СТЕРЖНЕВОЙ МОДЕЛИ ФРАГМЕНТА ТВСА ПРИ ПОСТАНОВКЕ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ РЕШЕТОК ТИПА «ПОРЯДНАЯ ПРОГОНКА»

Экспериментальные исследования распределения концентрации трассера в характерных зонах ТВСА при постановке поясов перемешивающих решеток типа «порядная прогонка» с длиной дефлекторов 4,5 мм и с углами отгиба 35° проводились при числе  $Re = 89360$ .

Анализ результатов экспериментального исследования локального массопереноса трассера в характерных зонах ТВСА позволил сделать следующие выводы.

1. Отклоненный дефлектором поток приобретает поперечные составляющие скорости на выходе из перемешивающей решетки. Посредством механизма конвективного переноса часть поперечного потока теплоносителя из каждой 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 турбулизации потока (рис. 8).

3. За решеткой перемешивающие свойства ПР снижаются вследствие уменьшения поперечных составляющих скорости, а интенсивность массообмена определяется степенью повышения турбулентности потока за решеткой. Наличие турбулентного трения приводит к диссипации энергии движения потока, что быстро уменьшает интенсивность поперечных конвективных течений, создаваемых дефлекторами решетки, но при этом сама исследуемая решетка создает достаточно высокую интенсивность перемешивания за счет конвективного переноса на выходе из ПР.

4. Затухание возмущений массообменных процессов за ПР происходит на расстоянии  $\Delta l/d \approx 21-23$ , что примерно соответствует длине затухания возмущений в ЭМ с поясом ПР типа «закрутка вокруг твэла», в то время как затухание попереч-



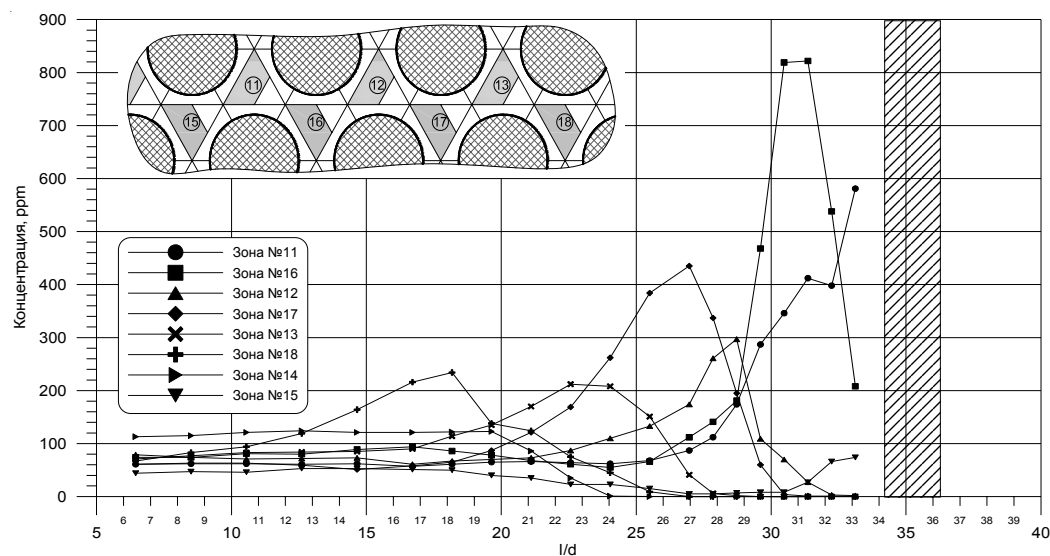


Рис. 8. Распределение концентрации трассера по длине 19-стержневой модели при постановке перемешивающих решеток типа «порядная прогонка»

ных скоростей потока за турбулизирующими дефлекторами ПР происходит на значительно меньшем расстоянии  $l/d=2-3,5$  [4]. Конвективные потоки, создаваемые дефлекторами, также турбулизируют течение за перемешивающей решеткой, что способствует увеличению диффузионного массообмена за поясом ПР.

5. 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 теплоносителя в соседнем ряду (рис. 9).

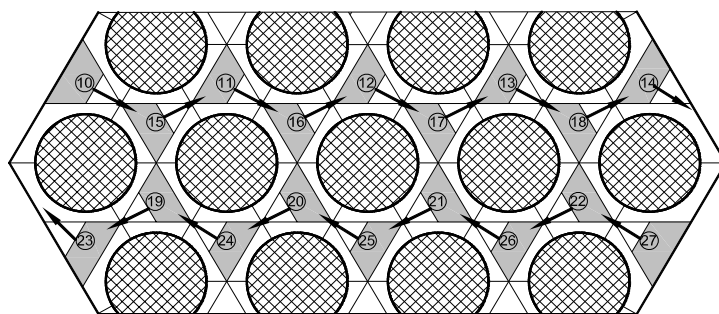


Рис. 9. Схема течения теплоносителя между соседними рядами твэлов

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ТРАССЕРА В МОДЕЛИ ФРАГМЕНТА ТВСА ПРИ ПОСТАНОВКЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ДИСТАНЦИОНИРУЮЩИХ РЕШЕТОК

Экспериментальные исследования распределения концентрации трассера на 57-стержневой модели фрагмента активной зоны реактора ВВЭР с ТВСА при постановке поясов комбинированных дистанционирующих решеток (КДР) с длиной дефлекторов 4,5 мм и с углом отгиба  $38^\circ$  проводились при числе  $Re = 77380$ .

Анализ результатов экспериментального исследования локального массопереноса трассера в характерных зонах ТВСА при постановке поясов комбинированных дистанционирующих решеток показал:

- эффективное перемешивание трассера в поперечном сечении заканчивается на расстоянии  $l/d \approx 20$  после КДР типа «закрутка вокруг твэла» с дефлектором 4,5 мм и углом отгиба  $38^\circ$  (рис. 10);
- за дефлекторами комбинированной дистанционирующей решетки типа «закрутка вокруг твэла» происходит винтообразное постепенно затухающее движение трассера, обусловленное закруткой потока посредством турбулизирующих лопаточных дефлекторов;
- интенсивность массообменных процессов в угловых зонах ТВСА приближается к соответствующей величине в стандартных ячейках;
- определено существование направленного движения потока теплоносителя в межкассетном зазоре, обусловленное наличием уголков жесткости;
- глубина распространения возмущений потока теплоносителя в соседние тепловыделяющие сборки ограничивается двумя периферийными рядами твэлов соседних ТВСА.

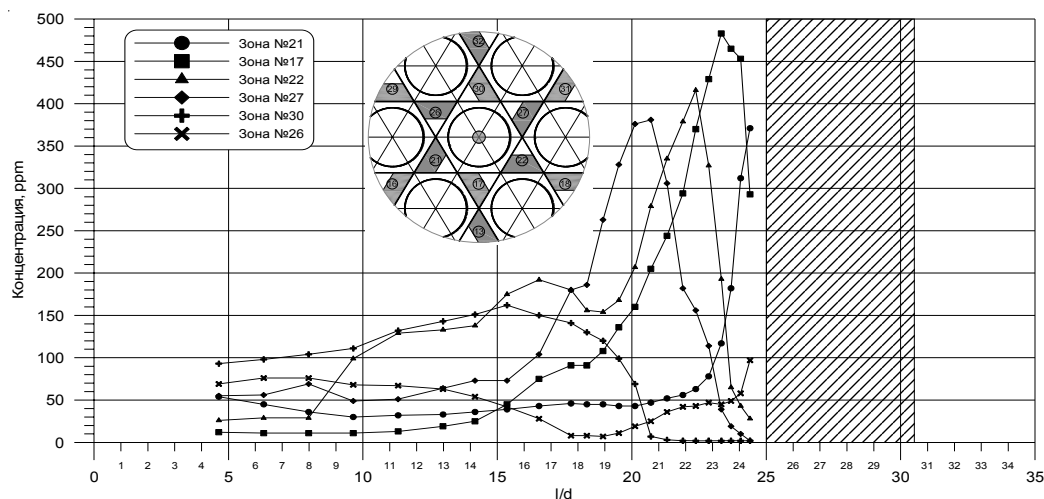


Рис. 10. Распределение концентрации трассера по длине 57-стержневой модели при постановке комбинированных дистанционирующих решеток

### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ТРАССЕРА В МОДЕЛИ ФРАГМЕНТА ТВСА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА

Расчет локальных характеристик массообмена и эффективности перемешивания в экспериментальной модели на стенде пропанового трассера осуществлен по коду КАНАЛ, адаптированному к расчетам гидродинамических характеристик воздушных потоков.

Анализ экспериментальных данных показывает, что среднее отклонение экспериментальной максимальной относительной концентрации от расчетной, усредненных на длине измерения, для исследованного диапазона чисел Рейнольдса не превышает 6%, при этом среднеквадратичное отклонение данных не превышает 3%.

Таким образом, экспериментально обосновано значение коэффициента  $KTO$ , определяющего в коде КАНАЛ интенсивность массообмена в направлении, пер-



пендикулярном направлении основного движения, для стандартных ячеек пучка твэлов ТВСА без влияния перемешивающих решеток.

В табл. 1 приведены значения эффективных коэффициентов турбулентного обмена и безразмерного коэффициента обмена TDC в ТВСА-АЛЬФА с ПР типов «закрутка вокруг твэла» и «порядная прогонка», полученные по результатам расчетных и экспериментальных исследований, пересчитанных на натурные условия.

Таблица 1

**Значения эффективных коэффициентов турбулентного обмена и безразмерного коэффициента обмена TDC для ТВСА с ПР типа «закрутка вокруг твэла»**

Рассматриваемый случай	Модель пропанового трассера без ПР	Модель пропанового трассера при постановке ПР ТВСА-АЛЬФА				
		закрутка вокруг твэла, 4,5 / 45	закрутка вокруг твэла, 4,5 / 35	порядная прогонка, 4,5 / 35	закрутка вокруг твэла, 3,5 / 45	закрутка вокруг твэла, 3,5 / 35
Тип решетки, длина / угол отгиба дефлектора, мм / град	– / –					
Число Рейнольдса, Re	82900	77800	77800	89360	77800	77800
Коэффициент увеличения КТО за счет ПР ТВСА-АЛЬФА, $K_{эфф}$	1,0	8,7	8,2	6,0	3,9	3,6
TDC	0,013	0,113	0,107	0,070	0,051	0,047

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании комплексного анализа экспериментальных данных по исследованию массообмена и гидродинамики потока теплоносителя в ТВСА реакторов ВВЭР с различными типами перемешивающих решеток сделаны следующие основные выводы:

- за дефлекторами перемешивающей решетки типа «закрутка вокруг твэла» происходит винтообразное движение трассера, обусловленное закруткой потока посредством турбулизирующих дефлекторов;
- определены расстояния, на которых происходит эффективное перемешивание трассера в поперечном сечении для перемешивающих решеток различного конструктивного исполнения;
- затухание возмущений массообменных процессов за перемешивающей решеткой происходит на большем расстоянии по сравнению с затуханием поперечных скоростей потока, возникающих за турбулизирующими дефлекторами;
- за перемешивающей решеткой типа «порядная прогонка» направленный поток теплоносителя, в основном, омывает только половину смоченного периметра

твэлов данного ряда, другую половину смоченного периметра твэлов омывает обратно направленный поток теплоносителя в соседнем ряду;

- глубина распространения возмущений потока теплоносителя в соседние тепловыделяющие сборки ограничивается двумя периферийными рядами твэлов соседних ТВСА.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Молчанов В.Л., Панюшкин А.К., Железняк В.М., Самойлов О.Б., Кууль В.С., Курылев В.И. Итоги создания и дальнейшего совершенствования ТВС альтернативной конструкции для реактора ВВЭР-1000/Сб. докладов Международной конференции «Атомные электростанции на пороге 21 века» (8-10.06.2000, Электросталь). – С. 412-428.
2. Полянин Л.Н. Тепло- и массообмен в пучках стержней при продольном обтекании турбулентным потоком жидкости // Атомная энергия. – 1969. – Т. 26. – Вып. 3.
3. Жуков А.В., Сорокин А.П., Матюхин Н.М. Межканальный обмен в ТВС быстрых реакторов: Теоретические основы и физика процесса. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 184 с.
4. Бородин С.С., Дмитриев С.М., Легчанов М.А., Хробостов А.Е., Самойлов О.Б., Сорокин Н.М. Особенности гидродинамики теплоносителя в альтернативных ТВС реакторов ВВЭР-1000 при использовании перемешивающих решеток // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2006. – №4.
5. Дмитриев С.М., Легчанов М.А., Хробостов А.Е., Самойлов О.Б., Сорокин Н.М. Экспериментальное исследование локальной гидродинамики альтернативной ТВС для обоснования теплотехнической надежности активных зон реакторов ВВЭР-1000 / Труды IV Российской национальной конференции по теплообмену. В 8 томах. Т. 4. – М.: Издательство МЭИ, 2006. – С. 83-87.

Поступила в редакцию 29.12.2008

**УДК 621.039.7**

*Selfdisposal of High Level Radioactive Waste* \A.Y. Fedorovskiy, M.A. Skachek; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 1 table. – References, 10 titles.

In this work one of perspective alternative method of localisation of a radioactive waste a self-disposal of a high level active waste is considered. The calculations confirming basic possibility of realisation of the chosen method are carried out, its merits and demerits are noted.

**УДК 621.039.5**

*Investigation of Nuclear Materials Neutron Background from ( $\alpha$ , n)-Reactions with Light Elements* \V.A. Yufereva, A.N. Shmelev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 6 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 8 titles.

The intensifying of internal neutron source of nuclear materials causes the increasing of their proliferation self-protection. This work deals with investigations of neutron background intensifying by ( $\alpha$ ,n)-reactions with light elements (LE). In accordance with the production reports of manufacturing plants, LE isotopes appear in nuclear fuel as inevitable impurities from application of some nuclear technologies.  $^{232}\text{U}$  was chosen as a source of additional alpha-particles in nuclear fuel. The changes of neutron background can be provided by changing of LE quantities or increasing of alpha-particle source, also by changing delay time of nuclear fuel after fabrication. Neutron yield per second from mass unit served as criterion of fuel self-protection.

Also this article contains the evaluation of dependence of neutron background on  $^{235}\text{U}$  content in the product at re-enrichment of 20%-uranium.

**УДК 621.039.534**

*Experimental Investigations of Efficiency of Heat-Carrier Flow Mixing for Choosing the Optimal Design of Alternative Fuel Assemblies of Reactors VVER* \S.M. Dmitriev, S.S. Borodin, A.N. Ershov, M.A. Legchanov, D.A. Nyrkov, D.N. Solncev, A.E. Khrobostov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 10 pages, 1 table, 10 illustrations. – References, 5 titles.

In this article the results and analysis of experimental data on investigation of the local mass transfer and hydrodynamic of heat-carrier flow in alternative fuel assembly of reactor VVER at using different design of mixing grids are submitted. Due to results of investigations a turbulent diffusion coefficient of heat-carrier flow in alternative fuel assemblies of reactor VVER with mixing grids was defined. Finding makes it possible to show the features of turbulent heat-carrier flow in fuel assemblies with mixing grids and to use in the capacity of database for thermotechnical calculation of core of reactors VVER.

**УДК 621.039.51**

*Simulation of Dynamic Processes for VVER-1000 Reactor* \A.A. Kazantsev, V.V. Sergeev, V.I. Belozеров, A.Yu. Efremov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 5 illustrations. – References, 10 titles.

The calculations showing the opportunity of thermal physic model and some results of 3D-dynamic modeling of VVER-1000 reactor are presented. Present paper is performed on the basis of 3D-transient non-equilibrium thermal – hydraulic two-phase model from 6 equations and point kinetic model of reactor. Void reactivity coefficient was shown based upon accident scenario with switching-off of 2 pumps from 4 and arising into reactors core volume of steam.

**УДК 621.039.5**

*Speed Propagation of Waves of Pressure in Technological Channels of Reactor БМК-1000* \K.N. Proskuryakov, D.A. Parshin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 11 pages, 1 table, 5 illustrations. – References, 13 titles.