

УДК 621.039

А.В. Варенцов, Д.Н. Солнцев, В.Д. Сорокин, М.А. Легчанов, А.Е. Хробостов**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАССООБМЕННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТВС РЕАКТОРНЫХ
УСТАНОВОК КЛТ–40С И РИТМ–200**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Проведены экспериментальные исследования локального массообмена потока теплоносителя в модели ТВС активной зоны реактора КЛТ–40С. Выявлены особенности течения потока теплоносителя в ТВС КЛТ–40С и реакторов РИТМ–200.

Ключевые слова: атомные станции малой мощности, ядерный реактор, тепловыделяющая сборка, межъячеечный массообмен, дистанционирующая решетка.

Введение

В настоящее время одно из приоритетных направлений развития ядерной энергетики связано с разработкой атомных станций малой мощности. На базе опыта создания и совершенствования судовых реакторов в ОАО «ОКБМ Африкантов» разработан ряд проектов реакторных установок для энергоисточников малой мощности: КЛТ–40С и РИТМ–200.

В ОКБМ для КЛТ–40С разработана новая кассетная активная зона, состоящая из тепловыделяющих сборок (ТВС) с пластинчатыми дистанционирующими решетками (ДР). Данная конструкция должна отвечать всем требованиям к современному ядерному топливу, а именно: надежности, безопасности, экономичности и технологичности [1]. Для внедрения данной конструкции необходимо провести комплекс исследовательских работ по обоснованию теплотехнической надежности активной зоны ядерного реактора и определить влияние особенностей конструкции ТВС на гидродинамику потока теплоносителя [2]. Следовательно, экспериментальное исследование гидродинамических и массообменных характеристик потока теплоносителя в пучках твэлов ТВС реакторов КЛТ–40С и РИТМ–200 при использовании дистанционирующих решеток является актуальной задачей.

С этой целью в научно–исследовательской лаборатории «Реакторная гидродинамика» НГТУ им. Р.Е. Алексеева проведен комплекс экспериментальных исследований локальной гидродинамики и межъячеечного массообмена теплоносителя на масштабной модели кассетной ТВС реакторов КЛТ–40С и РИТМ–200.

Экспериментальный стенд и методика проведения исследования

Экспериментальный стенд [3] для проведения исследований межъячеечного массообмена теплоносителя в ТВС реакторной установки КЛТ–40С и РИТМ–200 представляет собой аэродинамический разомкнутый контур, через который прокачивается воздух. Экспериментальная модель выполнена в полном геометрическом подобии натурной ТВС и состоит из шестигранного чехла, 78-ми твэл-имитаторов, шести имитаторов стержней с выгорающим поглотителем и трех поясов дистанционирующих решёток [4].

Для изучения межъячеечного массообмена потока теплоносителя на экспериментальном стенде применяется метод диффузии примесей. Данный метод основан на регистрации поперечного потока массы по некоторой переносимой субстанции. В качестве примеси выбран пропан, так как он обладает наиболее близкими к воздуху свойствами. Газ подается в характерную ячейку пучка твэлов, после чего отслеживается его распространение в поперечном сечении и по длине экспериментальной модели [5, 6, 7].

Методика проведения исследований заключалась в следующем:

- газовый трассер через впускной зонд подается в область стандартной ячейки № 86 и в три ячейки области вытеснителя № 63, 66, 131 (рис. 1–2) до пояса дистанционирующей решетки по ходу течения потока теплоносителя. С помощью отборного зонда производится замер концентрации трассера газоанализатором во всех ячейках за поясом ДР в характерных сечениях по длине ЭМ;
- по полученным данным строятся графики зависимости распределения концентрации трассера от относительной координаты и картограммы для характерных зон поперечного сечения ЭМ.

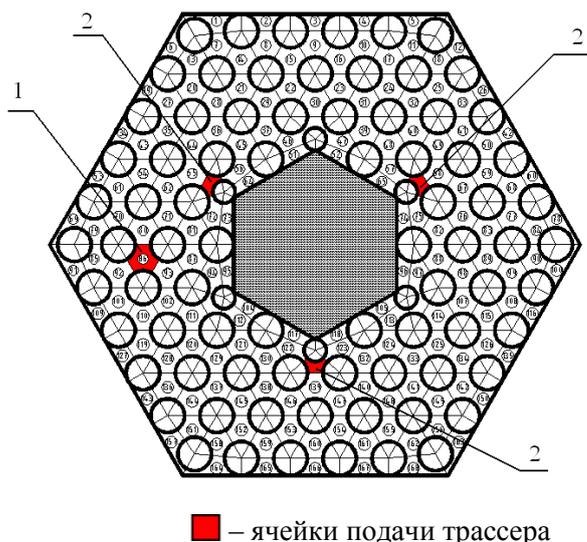


Рис. 1. Поперечное сечение экспериментальной модели:
1 – стандартная ячейка; 2 – ячейки зоны вытеснителя

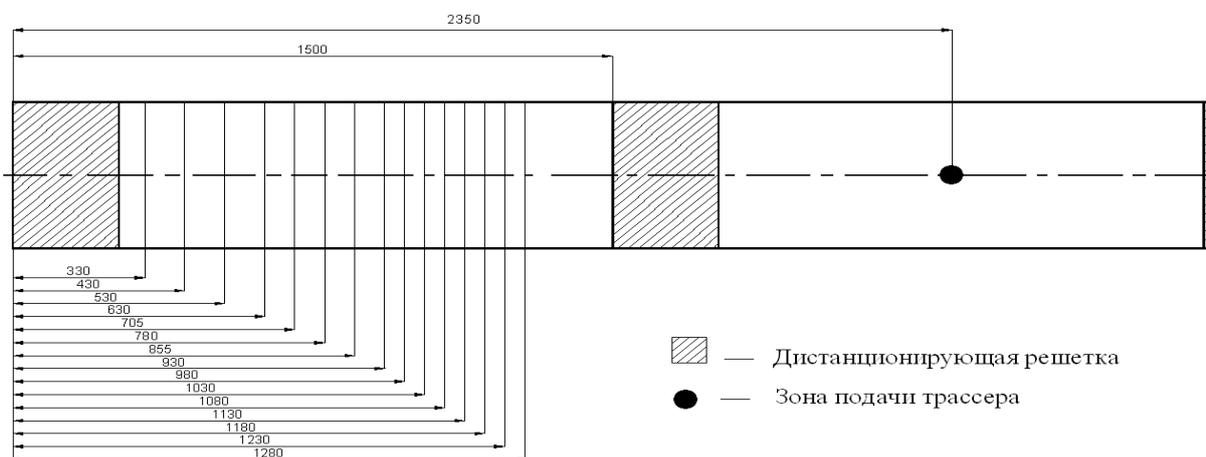


Рис. 2. Продольное сечение экспериментальной модели

Результаты исследований концентрации трассера за дистанционирующей решеткой

Анализ результатов распределения концентраций пропана в стандартной области и трех областей зон вытеснителя показал:

1. При подаче трассера в область стандартной ячейки №86 трассер под воздействием турбулентного массопереноса распространяется в соседние ячейки № 80, 92, 93, смешиваясь при этом с основным осевым потоком (рис. 3, а), и аналогично распространяется во второй ряд соседних ячеек.

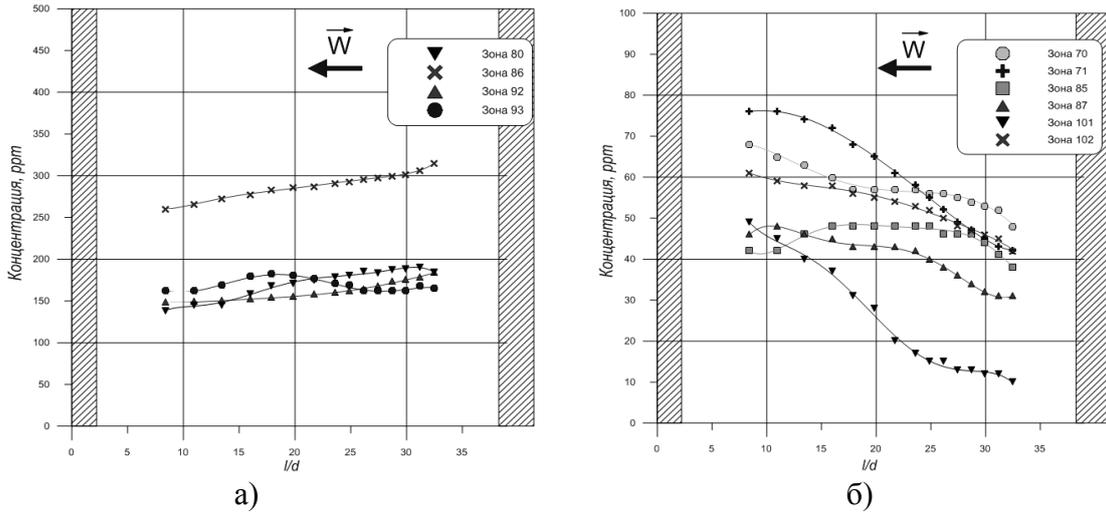


Рис. 3. Распределение концентрации трассера по длине экспериментальной модели за поясом дистанционирующей решетки для зон: а – № 86, 80, 92, 93; б – 70, 71, 85, 87, 101, 102 (среднерасходная скорость $\bar{w}=33,7$ м/с, $Re=88200$)

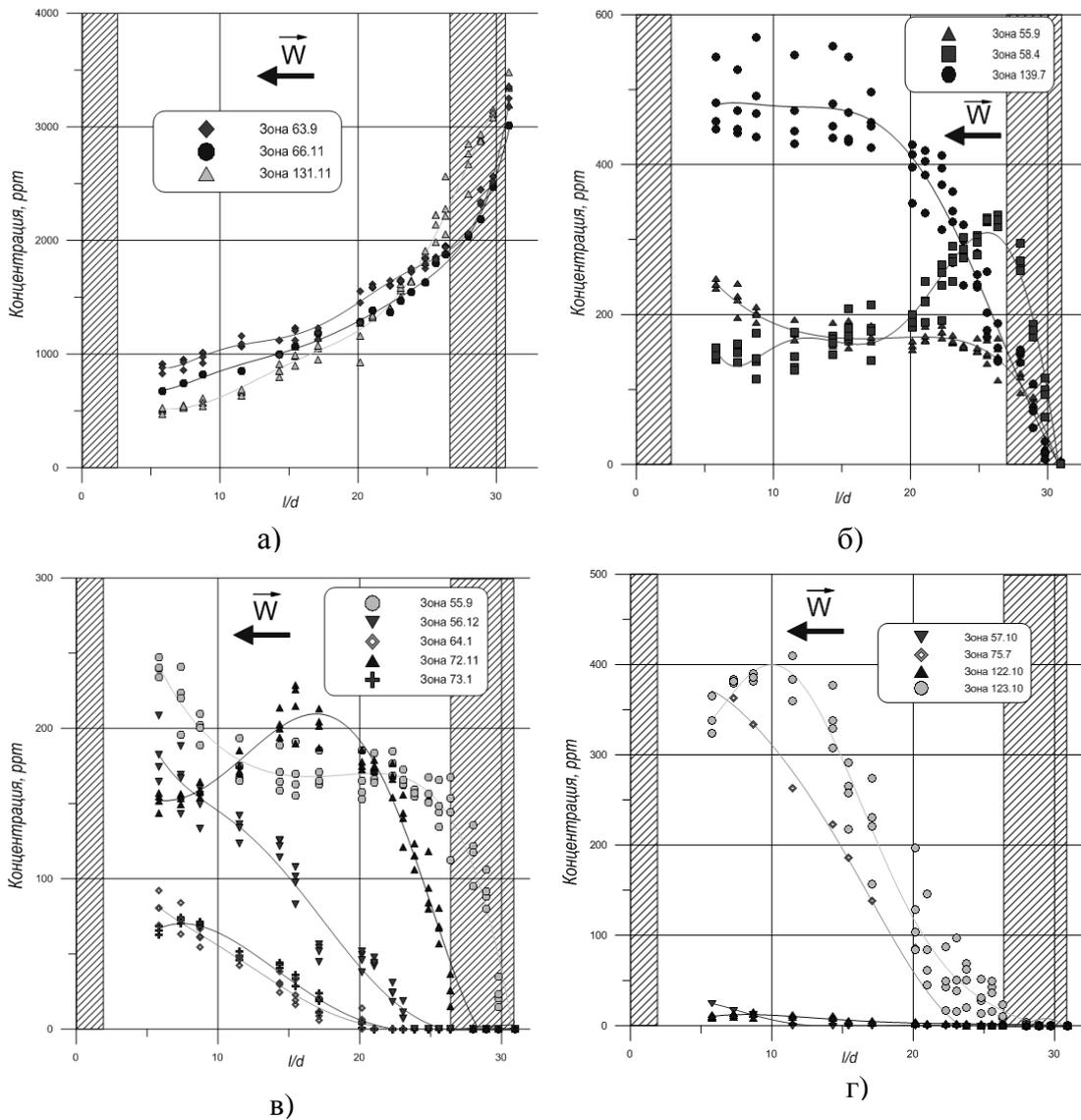


Рис. 4. Распределение концентрации трассера по длине ЭМ в ячейках подачи: а – № 63, 66, 131; б – №55,58,139; в – №№ 55, 56, 64, 72, 73; г – № 57, 75, 122, 123 (среднерасходная скорость $\bar{w}=35,6$ м/с, $Re=90640$)

2. При подаче трассера в область вытеснителя в ячейки № 63, 66, 131 (рис. 4, а) и его распространении по соседним ячейкам следует отметить, что концентрации в стандартных ячейках № 55, 58, 139 выше, чем в зоне нестандартных ячейках № 56, 72, 57, 75, 122 (рис. 4, б–г), а рост концентраций трассера в нестандартных ячейках наблюдается только за дистанционирующей решеткой. Это свидетельствует о наличии конвективных течений вследствие дополнительной турбулизации потока, вызванных пластинами ДР. Распределение концентрации трассера в зонах вытеснителя происходит не равномерно, при этом интенсивность и направление течений в смежные ячейки зависит от ширины межствольных зазоров и расположения пластин дистанционирующей решетки.

Выводы

1. Проведены экспериментальные исследования локального массообмена потока теплоносителя в модели ТВС активной зоны реактора КЛТ-40С. Выявлены особенности течения потока теплоносителя за дистанционирующей решеткой ТВС реактора КЛТ-40С.

2. Дистанционирующая решетка вносит незначительное возмущение в движение потока теплоносителя. С другой стороны такая дистанционирующая решетка имеет невысокое гидравлическое сопротивление.

3. Анализ распределения трассера по длине и поперечному сечению экспериментальной модели в характерных ячейках показал, что наличие пластин дистанционирующей решетки КЛТ 40С, РИТМ–200 приводит к дополнительной турбулизации потока, при этом интенсивность и направление течений зависит от ширины межствольных зазоров и расположения пластин дистанционирующей решетки, которые в неравной мере затесняют проходное сечение ячеек.

Полученные результаты могут быть использованы для верификации существующих расчётных кодов, предназначенных для проведения детального анализа теплогидравлических процессов в активных зонах водо-водяных ядерных реакторов.

Библиографический список

1. Основное оборудование АЭС с корпусными реакторами на тепловых нейтронах: учебник / С.М. Дмитриев [и др.]. – М.: Машиностроение, 2013. – 415 с.
2. К вопросу о методологии обоснования теплотехнической надежности активных зон водяных энергетических реакторов. / С.М. Дмитриев [и др.] // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2014. №2. С. 98–108.
3. Экспериментальные исследования гидродинамических и массообменных характеристик потока теплоносителя в ТВСА ВВЭР / С.М. Дмитриев [и др.] // Атомная энергия. 2012. Т. 113. № 5. С. 252–257.
4. Особенности локальной гидродинамики и массообмена теплоносителя в ТВС реакторов ВВЭР и PWR с перемешивающими решетками / С.М. Дмитриев [и др.] // Тепловые процессы в технике. 2013. Т. 5. № 3. С. 98–107.
5. Экспериментальные исследования локального массообмена и эффективности перемешивания теплоносителя дистанционирующими решетками в ТВС реактора КЛТ 40С / А.В. Варенцов [и др.] // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2012. №1. С. 107–113.
6. Экспериментальные исследования локальных гидродинамических характеристик потока в тепловыделяющих сборках реакторной установки плавучей атомной электростанции / А.В. Варенцов [и др.] // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2012. №3. С. 118–125.

7. Экспериментальные и расчетные исследования гидродинамики и массообмена потока теплоносителя в модели ТВС реактора КЛТ-40С. / А.В. Варенцов [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 3. С. 114–119.

*Дата поступления
в редакцию 20.11.2014*

A.V. Varentsov, D.N. Solntsev, V.D. Sorokin, M.A. Legchanov, A.E. Khrobostov

**EXPERIMENTAL RESEARCHES OF MASS EXCHANGE OF HEAT-CARRIER FLOW
IN FUEL ASSEMBLIES OF THE KLT-40S AND RITM-200 REACTORS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The main aim of research was study mass exchange heat-carrier flow features in fuel assemblies of the KLT-40S and RITM-200 reactors.

Design/methodology/approach: The main method of hydrodynamics and mass transfer in the nuclear reactor FA investigation is an experimental research of a full-size cassette model and active zones of aero- and hydrodynamics stands. For the local characteristics of intercellular mass transfer and hydrodynamics of the heat carrier in the KLT-40S nuclear reactor FA research the gas diffusion method was used.

Findings: Experimental researches of heat carrier mass transfer in the nuclear reactor FA were organized. The heat carrier flow features in fuel assemblies of the KLT-40S and RITM-200 reactors were revealed.

Research limitations/implications: The special databank was created on the base of the experiment results. The data are used for verifying CFD-codes to reduce conservatism on esteeming the KLT-40S and RITM-200 reactors heat engineering reliability. The results of the research were accepted are now used by Joint Stock Company OKBM Afrikanov.

Originality/value: Topically of this article is in heat carrier mass transfer research in the nuclear reactor FA to physical laws. Therefore we can prove heat engineering reliability of the KLT-40S reactor active zone.

Key words: nuclear reactor, fuel assembly, mixing grid, floating low-power nuclear power plant.