

# РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ И МАССООБМЕНА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ЗА ДИСТАНЦИОНИРУЮЩЕЙ РЕШЕТКОЙ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ РЕАКТОРА ПЛАВУЧЕГО ЭНЕРГОБЛОКА

С.М. Дмитриев, Д.В. Доронков, А.Н. Пронин, Д.Н. Солнцев,

В.Д. Сорокин, А.Е. Хробостов

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24*



Представлены результаты экспериментальных исследований локальной гидродинамики и межъячеечного массообмена потока теплоносителя в характерных зонах тепловыделяющей сборки реакторной установки КЛТ-40С за пластинчатой дистанционирующей решеткой. Исследования проводились на аэродинамическом стенде методом диффузии газового трассера. Анализ пространственного распределения проекций абсолютной скорости потока и распространения концентраций трассера позволил детализировать картину течения теплоносителя за пластинчатой дистанционирующей решеткой тепловыделяющей сборки реакторной установки (РУ) КЛТ-40С. Приведены результаты измерений коэффициента гидравлического сопротивления пластинчатой дистанционирующей решетки в зависимости от числа Рейнольдса. На основе экспериментальных данных сделаны рекомендации по уточнению методик расчета расходов теплоносителя для программ ячейочного расчета активной зоны РУ КЛТ-40С. Результаты исследования локальной гидродинамики и массообмена потока теплоносителя в ТВС РУ КЛТ-40С приняты для практического использования в ОАО «ОКБМ Африкантов» при оценке теплотехнической надежности активных зон реакторов КЛТ-40С и включены в базу данных для верификации программ вычислительной гидродинамики (CFD-кодов) и детального ячейочного расчета активной зоны РУ КЛТ-40С.

**Ключевые слова:** плавучий энергоблок, активная зона, тепловыделяющая сборка, дистанционирующая решетка, гидродинамика теплоносителя, массообмен теплоносителя, коэффициент гидравлического сопротивления.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России идет завершающий этап строительства первого плавучего энергоблока «Академик Ломоносов», который не имеет аналогов в мире. Энергоисточником плавучего энергоблока является РУ КЛТ-40С. Главным конструктором,

© С.М. Дмитриев, Д.В. Доронков, А.Н. Пронин, Д.Н. Солнцев, В.Д. Сорокин,  
А.Е. Хробостов, 2014

изготовителем и комплектным поставщиком оборудования для КЛТ-40С является ОАО «ОКБМ Африкантов».

Одним из важнейших элементов КЛТ40С является кассетная активная зона. Техническая база создания активной зоны КЛТ-40С основана на опыте проектирования, изготовления и эксплуатации активных зон атомных ледоколов. Активная зона КЛТ-40С состоит из чехловых тепловыделяющих сборок (ТВС) с пластинчатыми дистанционирующими решетками (ДР) [1]. Конструктивные особенности кассетной активной зоны КЛТ-40С по сравнению с традиционными решениями активных зон атомных ледоколов обусловили необходимость обоснования ее теплотехнической надежности.

Обоснование теплотехнической надежности активной зоны ядерного реактора во многом базируется на теплогидравлическом расчете [2]. Основной задачей расчета является проведение анализа тепловых и гидравлических характеристик активной зоны в течение всей кампании по всему спектру эксплуатационных режимов с целью обоснования теплотехнической надежности активной зоны и обеспечения нормальных условий работы элементной базы.

Теплогидравлический расчет проводится с использованием программ детального поэлементного расчета активных зон водо-водяных ядерных реакторов [3]. Но большинство таких программ основаны на математических моделях, включающих в себя эмпирические коэффициенты, учитывающие влияние различных конструктивных элементов ТВС на гидродинамику, тепло- и массообмен теплоносителя, поэтому необходимы работы по их дополнительной валидации.

Следовательно, особенности конструкции ТВС РУ КЛТ-40С требуют экспериментального исследования закономерностей формирования локальных гидродинамических и массообменных характеристик потока теплоносителя в пучках твэлов за ДР, что является актуальной задачей, решение которой позволяет обосновать теплотехническую надежность активных зон КЛТ-40С.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД

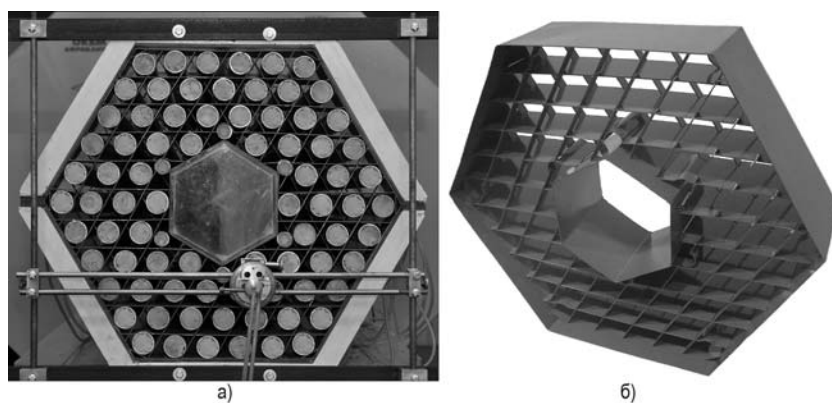


Рис. 1. Экспериментальная модель ТВС реактора КЛТ-40С (а) и пояс ДР (б)

Для исследования гидродинамики и массообмена теплоносителя в ТВС реакторной установки КЛТ-40С в НГТУ им. Р.Е. Алексеева был создан аэродинамический экспериментальный стенд, представляющий собой разомкнутый контур, через который прокачивается воздух [4]. В состав стенда входят вентилятор высокого давления, ресиверная емкость, экспериментальная модель (ЭМ) (рис. 1а), расходомерное устройство, система подачи и отбора трассера, измерительный комплекс.

ЭМ ТВС реактора КЛТ40С выполнена в полном геометрическом подобии и состоит из шестигранного чехла, твэлов-имитаторов, имитаторов стержней выгорающе-

го поглотителя и поясов ДР, представляющих собой конструкцию, состоящую из шестигранной обечайки и набора параллельных пластин, расположенных в три яруса (рис. 16).

### ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

В состав измерительного комплекса входят газоанализатор, расходомер газа, ЭВМ с программным обеспечением, трубка Пито-Прандтля, пятиканальный пневмометрический зонд, блок аналоговых преобразователей давления.

Измерение концентрации углеводородов  $C_nH_m$  в газозвушной смеси осуществлялось газоанализатором. Принцип измерения  $C_nH_m$  основан на измерении величины поглощения инфракрасного излучения. Диапазон измеряемых концентраций 0 – 10000 ppm, погрешности измерений с учетом индивидуальной градуировки равны  $\pm 15$  ppm (0 – 1000 ppm) и  $\pm 1,5\%$  (1000 – 10000 ppm) [5].

Поддержание заданного расхода газа-трассера осуществлялось массовым расходомером, позволяющим измерять и регулировать потоки газов. Погрешность составляла не более 0,5%.

Измерение вектора скорости потока теплоносителя осуществлялось пятиканальным пневмометрическим зондом. Предельные отклонения проекций абсолютной скорости на оси X, Y, Z не превышали 7% от абсолютной скорости. Перед проведением исследований зонд тарировали в воздушном потоке с известными и постоянными по сечению канала направлением и значением скорости [6].

Отбор проб трассера в газоанализатор осуществлялся с помощью отборного зонда, выполненного в виде трубки Пито-Прандтля, с помощью которого также можно определить значение осевой скорости потока [7].

Снятие показаний с пятиканального пневмометрического зонда производилось блоком аналоговых преобразователей давления. Предел допускаемой основной погрешности данных приборов составляет  $\pm 0,25\%$ .

### МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ И МАССООБМЕНА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТВС РУ КЛТ-40С

Для изучения межъячеечного массообмена в ТВС РУ КЛТ-40С применяется метод диффузии примесей [8], основанный на регистрации поперечного потока массы по некоторой переносимой субстанции. В качестве примеси выбран пропан, поскольку он обладает наиболее близкими к воздуху свойствами и не приводит к искажению картины течения теплоносителя.

Методика проведения исследований локального массообмена теплоносителя заключалась в следующем: газовый трассер через впускной зонд подавался в характерную ячейку ЭМ до пояса ДР по ходу течения потока теплоносителя; с помощью отборного зонда производился замер концентрации трассера газоанализатором по центрам всех ячеек за исследуемым поясом ДР в характерных сечениях по длине ЭМ, затем на основании полученных данных строились картограммы и графики зависимости распределения концентрации трассера от относительной координаты для характерных зон поперечного сечения ЭМ. По полученным картограммам и графикам была выявлена картина течения потока.

Экспериментальные исследования локальных гидродинамических характеристик потока теплоносителя в трубном пучке ЭМ заключались в измерении модуля вектора скорости, углов набегания потока и статического давления. Измерения проводились пятиканальным пневмометрическим зондом. Вектор скорости измерялся в характерных зонах периферийной области и области вытеснителя ЭМ (рис. 2). В каждой из таких зон замеры проводились в 19-ти сечениях по длине ЭМ.

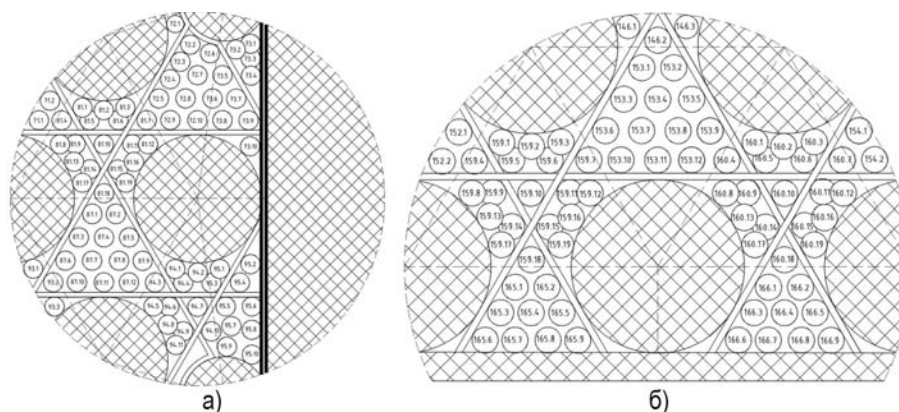


Рис. 2. Характерные зоны измерения вектора скорости: а) область вытеснителя; б) периферийная область

### ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Важным этапом проведения экспериментальных исследований является подтверждение их представительности. Поскольку моделирование течения теплоносителя в модели ТВС КЛТ-40С осуществляется воздухом на основе теории гидродинамического моделирования, можно утверждать, что в области автомодельности профиль относительной скорости ( $w_{\text{лок}}/w_{\text{ср.расх}}$ ) остается практически неизменным. Следовательно, проведение исследований гидродинамики и массообмена теплоносителя на ЭМ в зоне автомодельности позволит перенести результаты эксперимента на натурные условия течения теплоносителя в штатных ТВС. Для этого был проведен ряд испытаний, направленных на определение режимов течения теплоносителя в ЭМ и нахождение границ зон автомодельного течения теплоносителя. Исследования проводились в диапазоне чисел Рейнольдса  $Re = 1,5 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^5$  и заключались в построении эмпирической зависимости коэффициента трения участка ЭМ от числа  $Re$ . По полученным результатам автомодельного течения в ЭМ начинается в диапазоне чисел  $Re = (5 - 5,5) \cdot 10^4$ . Полученные значения чисел  $Re$  заведомо ниже значений, достигаемых при проведении исследований.

На аэродинамическом стенде также был экспериментально определен коэффициент гидравлического сопротивления (КГС) пояса ДР. Проведение данных работ вызвано тем, что для обоснования представительности экспериментальных исследований требуется соблюдение равенства КГС натуральных решеток и решеток ЭМ. Анализ результатов исследований КГС показывает, что выбранная конструкция и геометрические характеристики ДР в области автомодельного течения обеспечивают необходимое гидравлическое сопротивление, а полученное значение соответствует КГС натуральных решеток и составляет  $\xi_{\text{др}} = 0,29$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТВС РЕАКТОРА КЛТ-40С

Анализ результатов исследования локальной гидродинамики теплоносителя в модели ТВС РУ КЛТ-40С показал следующее.

1. Поток теплоносителя в ТВС реактора КЛТ-40С носит преимущественно осевой характер, значения относительных поперечных скоростей ( $w_x/w_{\text{ср.расх}}$ ), ( $w_y/w_{\text{ср.расх}}$ ) не превышают 5%.

2. Ввиду особенности конструкции ДР проходное сечение стандартных ячеек имеет два вида затеснения пластинами – «треугольник» и «звезда» (рис. 3).

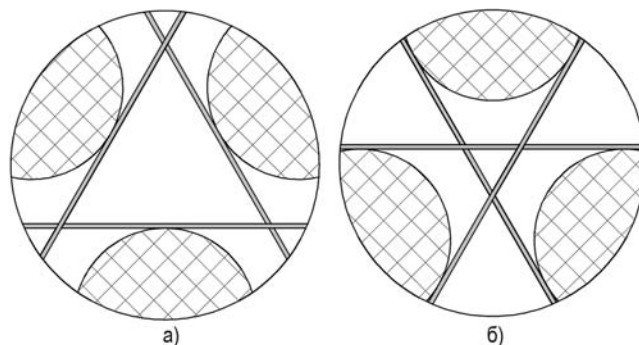


Рис. 3. Виды затеснения проходного сечения стандартных ячеек ЭМ: а) «треугольник»; б) «звезда»

В стандартных ячейках ТВС с затеснением проходного сечения пластинами ДР в виде «треугольника» значения аксиальной составляющей вектора скорости на 10 – 15% больше, чем в ячейках с затеснением в виде «звезды» (рис. 4). Данное явление обусловлено тем, что пластины ДР, затесняющие проходное сечение стандартных ячеек в виде «звезды», создают дополнительное гидравлическое сопротивление потоку по сравнению с расположением пластин в стандартных ячейках в виде «треугольника».

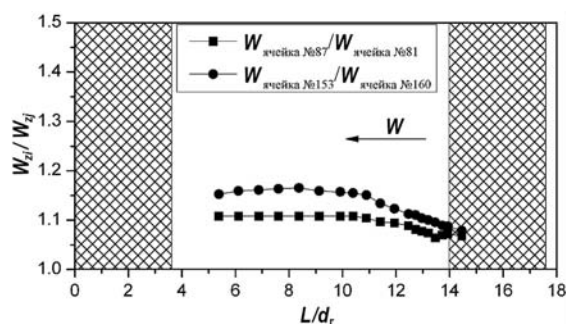


Рис. 4. Отношение аксиальной составляющей вектора скорости в стандартных ячейках двух вариантов затеснения проходного сечения

3. Анализ распределения расходов в стандартных ячейках ТВС двух вариантов затеснения проходного сечения пластинами ДР показал, что через ячейки с типом затеснения «треугольник» расход теплоносителя на 10% больше, чем через ячейки с типом затеснения «звезда» (рис. 5).

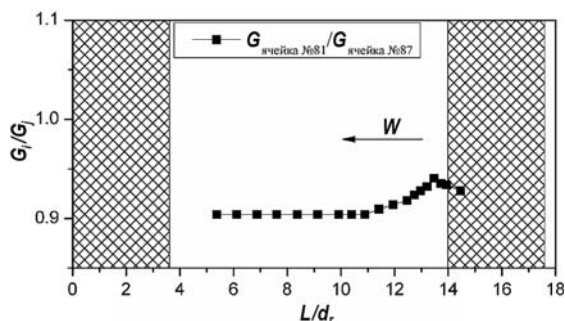


Рис. 5. Отношение распределения расхода теплоносителя через стандартные ячейки двух вариантов затеснения проходного сечения пластинами ДР



## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЖЪЯЧЕЕЧНОГО МАССООБМЕНА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТВС РУ КЛТ-40С

Анализ результатов исследования межъячеечного массообмена теплоносителя модели ТВС РУ КЛТ-40С позволил сделать следующие выводы.

1. ДР ТВС реактора КЛТ-40С вносит возмущение в поток теплоносителя, вследствие чего возрастает интенсивность массообмена, характеризующаяся степенью турбулентности потока. С другой стороны, наличие турбулентного трения приводит к диссипации энергии движения потока, тем самым «сглаживая» возмущения, вносимые ДР. На рисунке 6 виден характер затухания возмущений за поясом ДР по длине ЭМ.

2. ДР, состоящая из пластин, не приводит к интенсивному перемешиванию теплоносителя, поскольку распространение пропанового трассера в поперечном сечении ЭМ за ДР охватывает не более 11-ти ячеек вокруг точки инъекции трассера. Данное явление обусловлено меньшей перемешивающей способностью пластинчатой ДР, а также тем, что ТВС реактора КЛТ-40С имеет раздвинутый пучок твэлов.

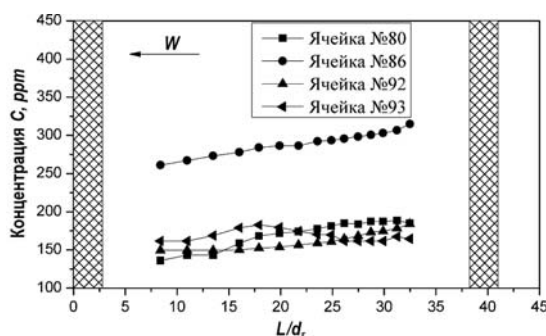


Рис. 6. Распределение концентрации трассера по длине ЭМ за поясом ДР

## АНАЛИЗ АКСИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЕКТОРА СКОРОСТИ ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В МОДЕЛИ ТВС РУ КЛТ-40С С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСЧЕТНОГО КОДА «КАНАЛ»

Код КАНАЛ предназначен для ячейкового теплогидравлического расчета ТВС со стержневыми твэлами в стационарных режимах работы активных зон водо-водяных реакторов. Анализ распределения аксиальной составляющей вектора скорости потока теплоносителя в модели ТВС реактора КЛТ-40С проводился с помощью этого кода, адаптированного к расчетам гидродинамических характеристик воздушных потоков.

В расчетном коде используется модель изобарных сечений, делящих ТВС на заданное число равных участков. По поперечному сечению ТВС разбивается на элементарные ячейки различных типов в соответствии с конструктивным исполнением. На каждом высотном участке ячейки рассматриваются как совокупность параллельных каналов, гидродинамика которых описывается системой нелинейных алгебраических уравнений, решаемой численным методом.

Теплогидравлический код КАНАЛ позволяет проводить ячейковый расчет выбранной области активной зоны водо-водяного реактора в составе от одной до семи ТВС, включая межкассетное пространство, или выбранной области в составе одной ТВС. В поперечном сечении расчетная область содержала все 168 ячеек модели ТВС реактора КЛТ-40С, включая твэлы, стержни выгорающего поглотителя и цен-

тральный вытеснитель.

Ячейки расчетной области были разделены на 14 основных типов. Разделение ячеек основывалось на величине гидравлического сопротивления, обусловленного различной конфигурацией пластин ДР в ячейках.

В продольном сечении ТВС реактора КЛТ-40С была разбита на 32 расчетных участка. Размер каждого расчетного участка соответствует ширине ДР и равняется 93 мм. ДР задавалась массивом КГС ячеек на расчетном участке, соответствующем ее расположению в ЭМ.

Минимальное расхождение расчетных и экспериментальных данных устанавливалось с помощью критерия  $S_{\Sigma}$ , характеризующего среднеквадратичное отклонение между расчетными и экспериментальными значениями аксиальной составляющей вектора скорости в соответствии с формулой

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \left( \frac{w_{ij}^{\text{э}} - w_{ij}^{\text{р}}}{w_{ij}^{\text{э}}} \right)^2},$$

где  $n, k$  – число строк и столбцов в таблице данных;  $w_{ij}^{\text{э}}, w_{ij}^{\text{р}}$  – экспериментальное и расчетное значения аксиальной составляющей вектора скорости, м/с.

Наилучшая сходимость расчетных и экспериментальных данных наблюдается при коэффициенте  $S_{\Sigma}$ , равном 0,078.

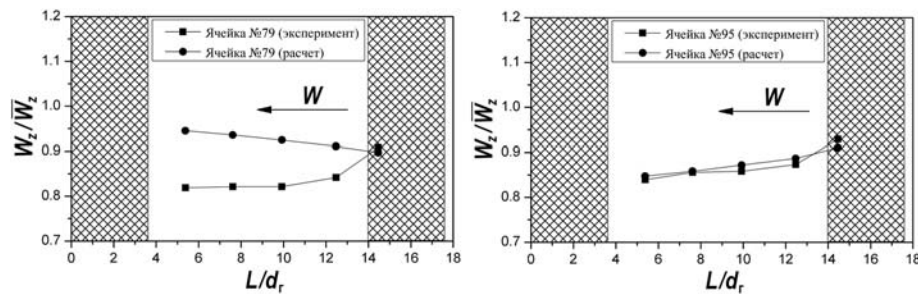


Рис. 7. Расчетное и экспериментальное распределения аксиальной составляющей вектора скорости: а) в ячейке с затеснением поперечного сечения пластинами ДР в виде «звезды»; б) в ячейке с затеснением поперечного сечения пластинами ДР в виде «треугольника»

По результатам анализа сходимости экспериментального и расчетного распределения аксиальной составляющей вектора скорости за ДР по длине модели ТВС РУ КЛТ-40С можно заключить следующее.

1. Коэффициент гидравлического сопротивления ДР, полученный на основе расчетных данных, равен 0,26. Погрешность относительно экспериментального значения коэффициента гидравлического сопротивления ДР, равного 0,29, составила 10%.

2. Расчетное и экспериментальное распределения аксиальной составляющей вектора скорости по длине модели за ДР в ячейках с затеснением поперечного сечения в виде «звезды» имеет разный характер (рис. 7а). В ячейках с затеснением поперечного сечения в виде «треугольника» наблюдается совпадение характера расчетного и экспериментального распределений аксиальной составляющей вектора скорости по длине модели (рис. 7б). Данный факт говорит о том, что ячейки с затеснением поперечного сечения в виде «треугольника» и «звезды» имеют различное гидравлическое сопротивление, но это не учитывается в программе КАНАЛ.

3. Сохраняется разница 10 – 15% в величине аксиальной составляющей вектора скорости между ячейками с затеснением поперечного сечения в виде «треугольника» и «звезды».

4. В выходном сечении модели ТВС реактора КЛТ-40С наблюдается схожий характер распределения расчетного и экспериментального значений аксиальной составляющей вектора скорости для всех исследованных ячеек (рис. 8).

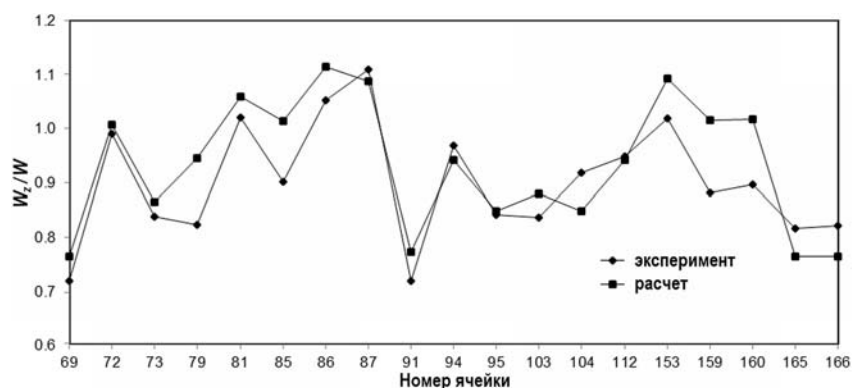


Рис.8. Расчетное и экспериментальное распределение аксиальной составляющей вектора скорости в выходном сечении экспериментальной модели

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании комплексного анализа экспериментальных и расчетных данных по исследованию гидродинамики и массообмена теплоносителя в ТВС реакторов КЛТ-40С сделаны следующие выводы.

1. Во всех исследуемых областях ТВС КЛТ-40С поток теплоносителя носит осевой характер.

2. Выявлено, что в стандартных ячейках ТВС с затеснением проходного сечения пластинами ДР в виде «треугольника» значения аксиальной составляющей вектора скорости на 10 – 15% больше, чем в ячейках с затеснением проходного сечения пластинами ДР в виде «звезды».

3. Определено, что через ячейки с затеснением проходного сечения пластинами ДР в виде «треугольника» расход теплоносителя на 10% больше, чем через ячейки с затеснением проходного сечения пластинами ДР в виде «звезды».

4. Дистанционирующая решетка ТВС КЛТ-40С вносит возмущение в поток теплоносителя, вследствие чего возрастает интенсивность массообмена. С другой стороны, наличие турбулентного трения приводит к диссипации энергии движения потока, тем самым «сглаживает» возмущения, вносимые решеткой.

5. Применение ДР, состоящих из пластин, не приводит к интенсивному перемешиванию потока теплоносителя. Данное явление обусловлено меньшей перемешивающей способностью пластинчатой ДР, а также тем, что ТВС реактора КЛТ-40С имеет раздвинутый пучок твэлов. С другой стороны, такая пластинчатая решетка имеет «невысокое» гидравлическое сопротивление.

6. Повышение точности расчета распределения аксиальной составляющей вектора скорости по ячейкам за дистанционирующей решеткой ТВС реактора КЛТ-40С требует проведения комплекса экспериментальных исследований для определения коэффициентов гидравлического сопротивления ячеек всех вариантов затеснения поперечного сечения, которые используются в качестве исходных данных, входящих в замыкающие системы уравнений, используемых в программе КАНАЛ.

## Литература

1. Бых О.А., Дмитриев С.М., Панов Ю.К., Сорокин Н.М., Зверев Д.Л., Фарафонов В.А. Основное оборудование АЭС с корпусными реакторами на тепловых нейтронах: учеб-



ник – М.: Машиностроение. – 2013.

2. Волков С.Е., Курдюмов А.С., Кашинский О.Н., Лобанов П.Д., Прибатурин Н.А. Экспериментальное исследование влияния дистанционирующей решетки на структуру течения в ТВС реактора АЭС-2006 // Теплоэнергетика. – 2013. – №1. – С. 63-67.

3. Баринов А.А., Бородин В.Е., Дмитриев С.М., Хробостов А.Е. К вопросу о методологии обоснования теплотехнической надежности активных зон водяных энергетических реакторов / Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – №2. – С. 98-108.

4. Бородин С.С., Дмитриев С.М., Легчанов М.А., Солнцев Д.Н., Сорокин В.Д., Хробостов А.Е. Экспериментальные исследования гидродинамических и массообменных характеристик потока теплоносителя в ТВСА ВВЭР // Атомная энергия. – 2012. – Т 113. – Вып. 5. – С. 252-257.

5. Варенцов А.В., Дмитриев С.М., Добров А.А., Доронков Д.В., Самойлов О.Б., Сорокин В.Д., Хробостов А.Е. Расчетно-экспериментальные исследования локальной гидродинамики и массообмена потока теплоносителя в ТВС-Квадрат реакторов PWR с перемешивающими решетками // Теплоэнергетика. – 2014. – №8. – С. 20-27.

6. Бородин С.С., Дмитриев С.М., Легчанов М.А., Солнцев Д.Н., Сорокин В.Д., Хробостов А.Е. Особенности локальной гидродинамики и массообмена теплоносителя в ТВС реакторов ВВЭР и PWR с перемешивающими решетками // Тепловые процессы в технике. – М.: Наука и технологии. – 2013. – Т. 5. – Вып. 3. – С. 98-107.

7. Варенцов А.В., Дмитриев С.М., Добров А.А., Солнцев Д.Н., Хробостов А.Е. Экспериментальные и расчетные исследования гидродинамики и массообмена потока теплоносителя в модели ТВС реактора КЛТ-40С // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: – 2013. – №3. – С. 114-119.

8. Жуков А.В., Сорокин А.П., Матюхин Н.М. Межканальный обмен в ТВС быстрых реакторов: Теоретические основы и физика процесса. – М.: Энергоатомиздат. – 1989.

Поступила в редакцию 15.10.2014 г.

#### Авторы

Дмитриев Сергей Михайлович, ректор, профессор, доктор техн. наук

E-mail: dmitriev@nntu.nnov.ru

Доронков Денис Владимирович, аспирант

E-mail: nevid000@mail.ru

Пронин Алексей Николаевич, аспирант

E-mail: proninaleksei@mail.ru.

Солнцев Дмитрий Николаевич, ассистент, кандидат техн. наук

E-mail: dn.solntsev@pochta.ru

Сорокин Владислав Дмитриевич, ассистент

E-mail: vlad.sorokin1987@mail.ru

Хробостов Александр Евгеньевич, директор ИЯЭ и ТФ, доцент, кандидат техн. наук

E-mail: khrobostov@nntu.nnov.ru

UDC 621.039

## COMBINED NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF HYDRODYNAMICS AND COOLANT FLOW MASS TRANSFER OUT OF SPACER GRID IN FUEL ASSEMBLIES OF FLOATING POWER UNIT

Dmitriev S.M., Doronkov D.V., Pronin A.N., Solntsev D.N., Sorokin V.D., Khrobostov A.E.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev.

24 Minin st., Nizhny Novgorod, 603950 Russia

### ABSTRACT

The results of experimental investigations of local hydrodynamics and intercell mass transfer of coolant flow in characteristic zones FA KLT-40C reactor unit behind a plate spacer grid have been presented. The investigations were carried out on an aerodynamic rig using the admixture diffusion method (the tracer-gas method). Study of spatial dispersion of absolute flow velocity projections and distribution of tracer concentration allowed to specify coolant flow picture behind the plate spacer grid FA of KLT-40C reactor unit. In this article the measurement results of liquid resistance of plate spacer grid in dependence to Reynolds number. On the base of received experimental data specification of procedure coolant load calculation recommendations for detailed cell-wise calculations of a core KLT-40C reactor unit have been written. Investigation results of local hydrodynamics and coolant flow mass transfer in FA KLT-40C reactor unit have been taken for practical use by Afrikantov OKBM JSC when assessing heat engineering reliability of cores KLT-40C reactor unit and are included in database for verification of CFD programs (CFD-codes) and detailed cell-wise calculation of reactor core KLT-40C.

**Key words:** floating power unit, core, fuel assemblies, spacer grid, coolant flow hydrodynamics, coolant flow mass transfer, flow friction coefficients.

### REFERENCES

1. Bykh O.A., Dmitriev S.M., Zverev D.L., Panov Y.K., Sorokin N.M., Farafonov V.A. Osnovnoe oborudovanie AES s korpusnymi reaktorami na teplovykh nejtronah [The main equipment of nuclear power plants with a tank reactor with thermal neutrons]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2013 (in Russian).
2. Volkov S.E., Kashinskiy O.N., Kurdyumov A.S., Lobanov P.D., Pribaturin N.A. Eksperimentalnoe issledovanie vliyaniya distantsioniruyushey reshyotki na strukturu techeniya v TVS reaktora AES-2006 [Experimental Study of the Effect of Spacer Grid on the Flow Structure in Fuel Assemblies of the AES 2006 Reactor]. *Teploenergetika*. 2013. no. 1, pp. 63-67.
3. Barinov A.A., Borodina V.E., Dmitriev S.M., Khrobostov A.E. K voprosu o metodologii obosnovaniya teplotekhnicheskoy nadezhnosti aktivnykh zon vodyanykh energeticheskikh reaktorov [On the issue of core cooling reliability substantiation methodology for the pressurized water reactors]. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva*. 2014. no. 2, pp. 98-108 (in Russian).
4. Borodin S.S., Dmitriev S.M., Legchanov M.A., Solntsev D.N., Sorokin V.D., Khrobostov A.E. Eksperimentalnye issledovaniya gidrodinamicheskikh i massoobmennyykh harakteristik potoka teplonositelya v TVSA VVER [Experimental studies of hydrodynamic and mass-transfer properties of coolant flow in VVER fuel assemblies TVSA]. *Atomnaya energiya*. 2012. 113 (5), pp. 252-257.
5. Varentsov A.V., Dmitriev S.M., Dobrov A.A., Doronkov D.V., Samoilov O. B., Sorokin V.D., Khrobostov A.E. Raschetno-eksperimentalnye issledovaniya lokal'noy gidrodinamiki i massoobmena potoka teplonositelya v TVS-Kvadrat reaktorov PWR s peremeshivayuschimi reshyotkami [Combined numerical and experimental

investigations of local hydrodynamics and coolant flow mass transfer in Kvadrat type fuel assemblies of PWR reactors with mixing grids]. *Teploenergetika*. 2014. no. 8, pp. 20-27.

6. Dmitriev S.M., Borodin S.S., Legchanov M.A., Solntsev D.N., Sorokin V.D., Khrobostov A.E. Osobennosti lokalnoj gidrodinamiki i massoobmena teplonositelya v TVS reaktorov VVER i PWR s peremeshivayuschimi resh'yotkami [Features of local hydrodynamics and mass exchange of the heat-carrier in fuel rod assemblies of VVER and PWR with mixing grids]. *Teplovyye protsessy v tekhnike*. 2013. 5 (3), pp. 98-107.

7. Varentsov A.V., S.M.Dmitriev S.M., Dobrov A.A., Solntsev D.N., Khrobostov A.E. Eksperimentalnye i raschyotnye issledovaniya gidrodinamiki i massoobmena potoka teplonositelya v modeli TVS reaktora KLT-40S [Experimental and numerical researches of hydrodynamics and mass transfer of coolant flow in experimental model of KLT-40S reactor fuel assembly]. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ya*. 2013, no. 3, pp. 114-119.

8. Zhukov A.V., Sorokin A.P. and Matyukhin N.M. Mezhhkanal'nyj obmen v TVS bystrykh reaktorov: Teoreticheskie osnovy i fizika processa [Interchannel Transfer in Fuel Assemblies of Fast Neutron Reactors: Theoretical Principles and Physics of the Process]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1989) [in Russian].

### Authors

Dmitriev Sergej Mihajlovich, Rector, Dr.Sci. (Engineering), Professor

E-mail: dmitriev@nntu.nnov.ru

Doronkov Denis Vladimirovich, Postgraduate Student

E-mail: nevid000@mail.ru

Pronin Aleksej Nikolaevich, Postgraduate Student

E-mail: proninaleksei@mail.ru

Solntsev Dmitrij Nikolaevich, Assistant, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: dn.solntsev@pochta.ru

Sorokin Vladislav Dmitriyevich, Assistant

E-mail: vlad.sorokin1987@mail.ru

Khrobostov Aleksandr Evgen'evich, Director, Cand. Sci. (Engineering).

E-mail: khrobostov@nntu.nnov.ru