1. Гусев, О.К. Методология и средства измерений параметров объектов с неопределенными состояниями / О.К. Гусев [и др.]; под общ. ред. О.К. Гусева. – Минск: БНТУ. – 2010. – 582 с.
2. Гусев О.К. Идентификация растворов в технологических трубопроводах на основе явления динамической поляризации // Измерительная техника. – 2004. – № 7. – С. 60-62.

УДК 621.039

ИЗМЕРЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В МОДЕЛЯХ ТОПЛИВНЫХ СБОРОК ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ПЯТИКАНАЛЬНОГО ПНЕВМОМЕТРИЧЕСКОГО ЗОНДА

Дмитриев С.М., Добров А.А., Легчанов М.А., Хробостов А.Е.
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижний Новгород, Российская Федерация

Повышение интенсивности перемешивания в тепловыделяющих сборках (ТВС) ядерных реакторов с водой под давлением приводит к выравниванию локальных свойств теплоносителя, тем самым уменьшая влияние факторов местного перегрева. Это говорит о том, что разработка интенсификаторов тепло- и массообмена является важной инженерной задачей при конструировании новых и модернизации существующих ТВС. В качестве таких интенсификаторов, например, могут применяться дополнительно установленные перемешивающие решетки, снабженные турбулизирующими дефлекторами. Такие устройства создают направленный конвективный поперечный перенос массы теплоносителя. В то же время форма и угол отгиба дефлекторов влияют как на интенсивность перемешивания, так и на гидравлическое сопротивление решетки. Поэтому представление о степени влияния геометрии дефлекторов на гидродинамические характеристики теплоносителя весьма важно для проведения достоверного теплогидравлического расчета активной зоны и обоснования эффективности таких решеток [1].

В лаборатории «Реакторная гидродинамика» НГТУ им. Р.Е. Алексеева (Россия, Нижний Новгород) проводятся исследования локальной гидродинамики и массообмена теплоносителя в моделях фрагментов ТВС и активных зон ядерных реакторов. Для этих целей создан экспериментальный стенд [2], представляющий собой разомкнутый аэродинамический контур, в состав которого включаются экспериментальные модели ТВС.

Моделирование течения водяного теплоносителя воздухом, а также использование увеличенных моделей, позволяет достичь высоких значений чисел Рейнольдса при относительно невысоких скоростях и не требует учета сжимаемости воздушного потока. При этом, используя положения теории подобия, результаты исследования гидродинамических характеристик, представленные в безразмерной форме, могут быть перенесены на натурные условия течения теплоносителя. Кроме того, выбор воздуха в качестве рабочей среды позволил применить достаточно простые и информативные пневмометрические методы измерения скорости. Одним из таких методов является использование многоканального пневмометрического зонда. Проведя предварительную тарировку, по информации об измеренных значениях давления в приемных отверстиях зонда можно восстановить три компоненты вектора скорости, а также значения полного и статического давления в исследуемой точке.

В НГТУ им. Р.Е. Алексеева была разработана конструкция зонда для измерения вектора скорости в моделях ТВС активных зон ядерных реакторов. Чувствительная часть зонда представляет собой пять стальных капилляров, расположенных в двух перпендикулярных друг другу диаметральных плоскостях (рисунок 1).

При проведении исследований использовалась методика измерения вектора скорости неподвижным многоканальным пневмометрическим зондом с предварительной тарировкой его в аэродинамической трубе. При тарировке зонда необходимо записать значения давлений в его приемных отверстиях, а также значения статического и полного давления в точке измерения для каждой комбинации углов установки зонда при заранее установленной скорости.

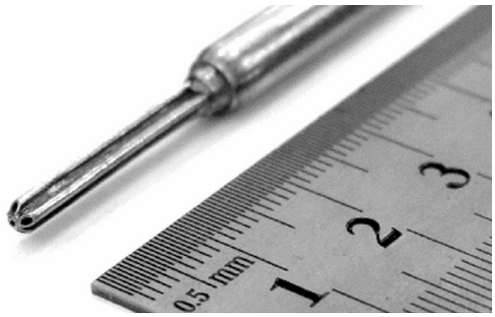

Рисунок 1 – Пятиканальный пневмометрический зонд

Методика определения величины и направления вектора скорости потока пятиканальным пневмометрическим зондом была применена в экспериментальных исследованиях по изучению локальной гидродинамики в тепловыделяющих сборках ТВСА для реакторов ВБЭР-300 и ТВСКВАДРАТ для реакторов PWR [3–7]. Обе конструкции ТВС разработаны в АО «ОКБМ Африкантов» (Россия, Нижний Новгород), а работы выполнялись по заданию данной организации.

Измерения локальных гидродинамических характеристик проводились в характерных областях экспериментальных моделей в нескольких сечениях по длине.

По результатам измерений с помощью пятиканального зонда были получены данные о распределении компонент вектора скорости в различных сечениях за дистанционирующими решетками, а с помощью математического пакета Matlab были построены векторные поля поперечной скорости (рисунок 2).

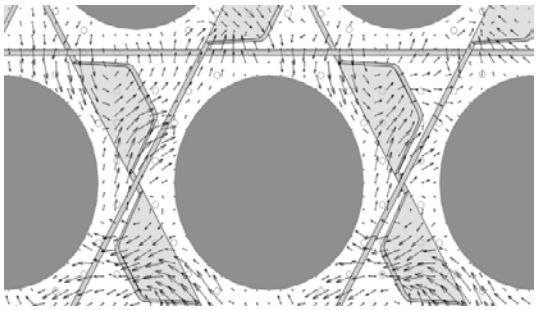

Рисунок 2 – Векторное поле поперечной скорости за перемешивающей решеткой ТВСА

Анализ полученных векторных полей поперечной скорости позволил наглядно изучить формирование вторичных вихревых течений за дефлекторами перемешивающих решеток ТВС, а также определить основные закономерности движения теплоносителя.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора № 02.G25.31.0124 от 3 декабря 2014 г. в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации №218 от 9 апреля 2010 г.

1. Дмитриев С.М., Зверев Д.Л., Бых О.А., Панов Ю.К., Сорокин Н.М., Фарафонов В.А. Основное оборудование АЭС : учеб. пособие / С.М. Дмитриев [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа. – 2015.
2. Дмитриев С.М., Варенцов А.В., Добров А.А., Солнцев Д.Н., Хробостов А.Е. Экспериментальные и расчетные исследования гидродинамики и массообмена потока теплоносителя в модели ТВС реактора КЛТ–40С / С.М. Дмитриев [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – №3. – С. 114-119.
3. Бородин С.С., Варенцов А.В., Добров А.А., Доронков Д.В., Солнцев Д.Н. Исследования гидродинамических и массообменных характеристик теплоносителя в ТВСА–Альфа реакторов ВВЭР при постановке системы перемешивающих решеток типа «порядная прогонка» / С.С. Бородин [и др.] // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2011. – № 4-3. – С. 650-652.
4. Дмитриев С.М., Варенцов А.В., Добров А.А., Доронков Д.В., Легчанов М.А., Хробостов А.Е. Исследование массообмена теплоносителя за перемешивающими решетками ТВС реакторов ВБЭР-300 с целью обоснования их эффективности / С.М. Дмитриев [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – №5 (102).– С. 197-205.
5. Дмитриев С.М., Легчанов М.А., Хробостов А.Е., Варенцов А.В., Доронков Д.В., Добров А.А. Исследования локальной гидродинамики и межъячеечного массообмена потока теплоносителя в районе направляющих каналов тепловыделяющих сборок реакторов PWR / С.М. Дмитриев [и др.] // Промышленная энергетика. – 2013. – №12. – С. 45-50.
6. Дмитриев С.М., Самойлов О.Б., Хробостов А.Е., Варенцов А.В.. Добров А.А., Доронков Д.В., Сорокин В.Д. Расчетно-экспериментальные исследования локальной гидродинамики и массообмена потока теплоносителя в ТВСКВАДРАТ реакторов PWRс перемешивающими решетками / С.М. Дмитриев [и др.] // Теплоэнергетика. – 2014. – №8. – С. 20-27
7. Бородин С.С., Варенцов А.В., Добров А.А., Дмитриев С.М., Пронин А.Н., Солнцев Д.Н., Сорокин В.Д., Хробостов А.Е. Расчетно-экспериментальные исследования локальных гидродинамических и массообменных характеристик потока теплоносителя в ТВСА реакторов ВВЭР с перемешивающими решетками / С.С. Бородин [и др.] // Тепловые процессы в технике. – 2015. – № 4. – С. 177-182.