

Н. А. Прибатурин¹, О. Н. Кашинский¹, А. С. Курдюмов^{1}, П. Д. Лобанов¹*

Исследование гидродинамики потока в кольцевом канале с частичным перекрытием сечения

¹ Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: kurdumov@itp.nsc.ru

Аннотация. В статье приводятся данные экспериментов по изучению потока в кольцевом канале с частичным перекрытием сечения. Исследования были выполнены с использованием оптических методов – трассерной визуализации (PIV) и лазерного доплеровского измерения скорости (ЛДИС). Представленные результаты позволяют верифицировать программное обеспечение, применяемое для оптимизации теплогидравлических параметров перспективных ядерных энергетических установок с целью гарантировать безопасность их эксплуатации.

Ключевые слова: тепловыделяющая сборка, отрывное течение, лазерные методы исследований

N. A. Pribaturin¹, O. N. Kashinsky¹, A. S. Kurdyumov^{1}, P. D. Lobanov¹*

Study of the Hydrodynamics of the Flow in an Annular Channel with Partial Overlap of the Section

¹Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: kurdumov@itp.nsc.ru

Abstract. An experimental study of the flow in an annular channel with partial overlap of the section was carried out. The studies were performed using optical methods – PIV, LDA. The presented results make it possible to verify the software used to optimize the thermohydraulic parameters of promising nuclear power plants in order to guarantee the safety of their operation.

Keywords: fuel assembly, separated flow, laser research methods

Введение

На теплообмен и гидродинамику в тепловыделяющих сборках (ТВС) оказывают влияние различные параметры, одним из основных является степень затенения потока элементами конструкции. Для описания течения в ТВС применяются различные модели, которые включают этот параметр. Однако, из-за сложной геометрической формы дистанционирующих решеток, необходимо провести верификацию этих моделей в каналах с более простой геометрией, чтобы предсказать их влияние на структуру течения.

В ходе гидродинамического эксперимента, описанного в [1], были получены данные о скоростях движения фаз и распределении локального газосодержания. Они были использованы для верификации моделей вычисления гидродинамиче-

ской структуры течения. Исследование структуры потоков в каналах сложной геометрии необходимо для создания эталонных баз данных, которые будут использоваться для проверки точности расчетных кодов.

Простейшей моделью течения в ТВС является кольцевой канал [2, 3]. Однако для полноценного моделирования потока в сборке необходимо наличие областей, возмущающих поток. В этом исследовании поток в осесимметричном кольцевом канале был возмущен путем частичного перекрытия сечения. Это позволило создать четко выраженную трехмерную структуру потока, который перестраивается при обтекании преграды.

Экспериментальная установка

В качестве рабочего участка использовался кольцевой канал длиной 3600 мм, образованный двумя коаксиальными трубами с диаметрами 42 мм и 20 мм. Гидравлический диаметр канала, таким образом, был равен 22 мм. Исследования проводились при восходящем потоке жидкости. Для обеспечения точного расположения труб использовались центрирующие решетки.

На расстоянии 2700 мм от начала рабочего участка была установлена металлическая пластина, которая перекрывала четверть поперечного сечения трубы, как показано на рис. 1.

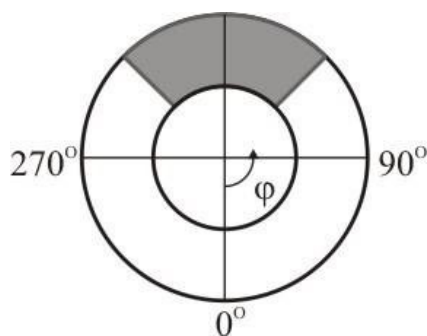


Рис. 1. Поперечное сечение рабочего участка с преградой (показана серым цветом)

Эксперименты проводились при скорости 0,45 м/с, что соответствовало числу Рейнольдса 11000. Вращение и перемещение по вертикали трубы с закрепленным на ней препятствием производилось с помощью координатного устройства. Это позволяло проводить измерения при различных положениях заслонки относительно измерительных систем.

При измерениях использовались оптические методы исследования – ЛДИС, PIV. Чтобы уменьшить оптические искажения, на внешней трубе установили прямоугольный бокс, который заполнили иммерсионной жидкостью.

Для поведения полевых исследований были использованы PIV, PLIF методы. Использовался двойной импульсный Nd:Yag лазер. Лазерный нож создавался с помощью оптической системы. Энергия импульса составляла 50 мДж. Использовалась ПЗС-камера для регистрации изображений потока. Разрешение

камеры было 4004×768 пикселей. Для снижения оптических искажений вокруг рабочего участка был установлен прозрачный короб, заполненный водой. Рабочей жидкостью служила дистиллированная вода с добавлением полимерных частиц (20–50 мкм) компании Dantec Dynamics.

Локальная гидродинамика потока с частичным перекрытием сечения

В работах, выполненных ранее, были получены распределения трения и пульсаций трения на стенке. В области преграды наблюдалась сложная структура с явно выраженным минимумом трения за преградой и максимумом трения на краях затененной области. При увеличении расстояния от преграды распределение трения выравнивается, однако слабое влияние препятствия на поток наблюдается на расстоянии до 600 мм. Пульсации трения значительно вырастают в перекрытой области сечения и уменьшаются в открытом сечении.

На рис. 2 показаны поля скорости за преградой.

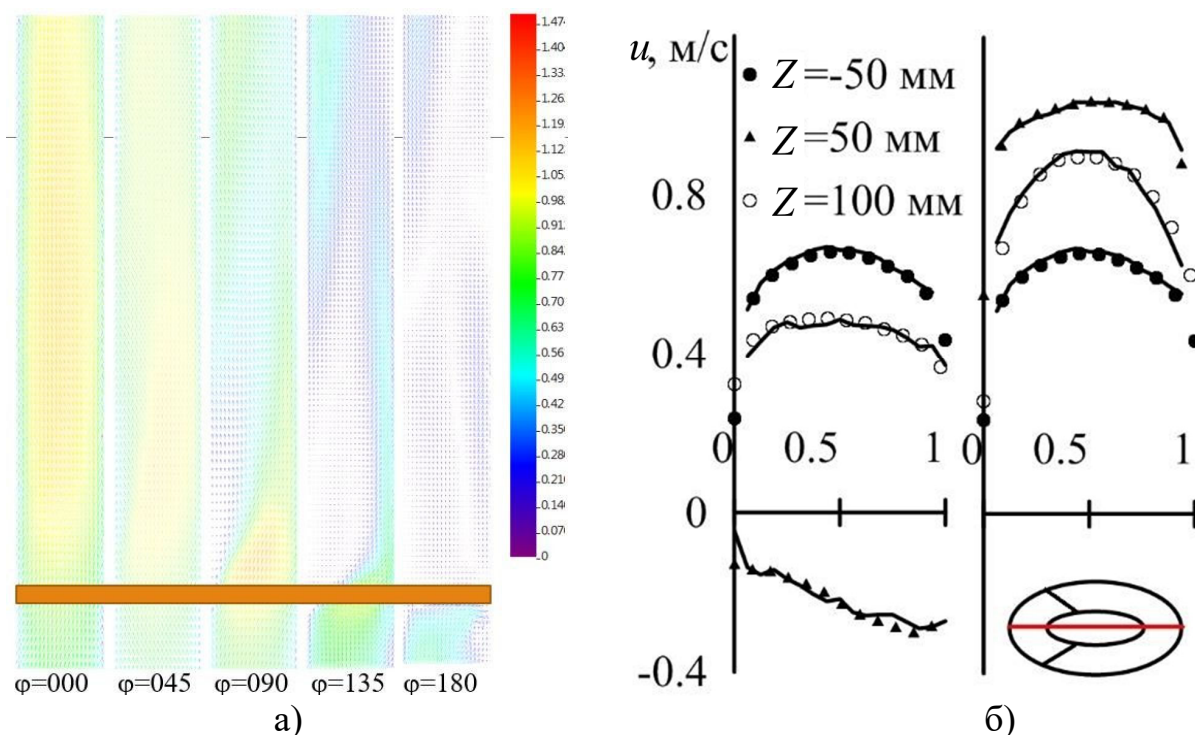


Рис. 2. Поля распределения скорости жидкости (а) и распределение скорости жидкости за преградой (б): точки – ЛДИС, линии – PIV

Непосредственно за преградой наблюдаются отрицательные значения скорости жидкости, что говорит о наличии отрывного течения. Скорость потока на краях преграды значительно превышает скорость в невозмущенном потоке. Данные, полученные при использовании разных методов (PIV, ЛДИС) хорошо согласуются между собой. Отклонение не превышает 5%.

Заключение

Разработка расчетных кодов нового поколения требует создания баз оцененных экспериментальных данных. В данной работе было проведено исследование структуры течения в кольцевом канале с частичным перекрытием сечения. Результаты этого исследования могут быть полезны для проверки точности новых поколений вычислительных программ.

Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания ИТ СО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. CFD modelling of polydispersed bubbly two-phase flow around an obstacle / E. Krepper, M. Beyer, T. Frank, [et al.] // Nuclear Engineering and Design. – 2009. – Vol. 239. – № 11. – P. 2372–2381.
2. Гидродинамическая структура и теплообмен восходящего пузырькового течения в кольцевом канале / О.Н. Кашинский, А.С. Курдюмов, П.Д. Лобанов. // Тепловые процессы в технике, 2010. – Т. 9. – С. 411–415.
3. Локальные характеристики восходящего пузырькового течения в кольцевом канале / О.Н. Кашинский, А.С. Курдюмов, П.Д. Лобанов. // Теплофизика и Аэромеханика 2011. – Т. 18. – № 1. – С. 41–45.
4. Исследование структуры зоны трехмерных возмущений однофазного потока в кольцевом канале с частичным перекрытием сечения / О.Н. Кашинский, П.Д. Лобанов, А.С. Курдюмов, [и др.] // Теплоэнергетика. – 2013. – № 5. – С. 41–45.

© Н. А. Прибатурин, О. Н. Кашинский, А. С. Курдюмов, П. Д. Лобанов, 2024