

УДК 621.039

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБУЛЕНТНОСТИ
ВНУТРИРЕАКТОРНЫХ ПОТОКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА МАТРИЧНОЙ
КОНДУКТОМЕТРИИ**

КОНОВАЛОВ И.А., БАРИНОВ А.А., ЧЕСНОКОВ А.А., ХРОБОСТОВ А.Е., МАКАРОВ М.А.
*Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексева
(Нижний Новгород, Российская Федерация)*

Аннотация. В работе представлены результаты серии экспериментальных исследований с целью определения масштабов турбулентности на основе данных, получаемых с помощью трассерных методов измерений на примере использования кондуктометрической измерительной системы. Изложенная методика обработки экспериментальных данных позволила получить оценки частотных и пространственных масштабов турбулентности, дающих хорошее соответствие с теоретическими значениями. Результаты проделанной работы могут быть использованы при выборе валидационной метрики для расчетных моделей семейства LES.

Ключевые слова: пространственная кондуктометрия, турбулентность внутриреакторные потоки.

**STUDIES OF NUMERICAL ESTIMATE OF CHARACTERISTICS OF TURBULENCE OF
REACTOR FLOWS WITH APPLICATION OF MATRIX CONDUCTOMETRY METHOD**

I.A. KONOVALOV, A.A. BARINOV, A.A. CHESNOKOV,
A.E. KHROBOSTOV, M.A. MAKAROV
*Nizhny Novgorod State Technical University named R.E. Alekseev
(Nizhny Novgorod, Russian Federation)*

Abstract. In this paper results of series of experimental studies aim to determining turbulence scales based on data, obtained by tracer measurement methods on the example of application of conductometry measurement system are shown. Presented methodology of experimental data processing provided to obtain spatial and frequency scales of turbulence, which are correspond to their theoretical values. Results of this work may be used with choose of validation metrics for LES models

Keywords: spatial conductometry, turbulence, reactor flows.

Актуальной задачей для современной атомной энергетики является обеспечение безопасности и эффективности эксплуатации инновационных ядерных энергетических установок (ЯЭУ), что влечет за собой необходимость разработки новых систем безопасности, основанных на пассивных принципах действия. При этом, в эксплуатационных и, в особенности, аварийных режимах работы реакторной установки нестационарность протекающих гидродинамических и тепловых процессов может оказывать существенное влияние на состояние элементов ЯЭУ [1]. Учет данной особенности не всегда возможен стандартными средствами вычислительной гидродинамики, однако решением данной проблемы может стать применение LES моделей турбулентности, получающих все более широкое распространение в последние годы. Тем не менее, применительно к вопросам обеспечения безопасности ЯЭУ, использование LES метода невозможно без проведения валидации и верификации на широком спектре экспериментальных работ.

В исследовательской практике для изучения характеристик турбулентных потоков широкое распространение получили трассерные методы измерений. Основное требование таких методов – наличие некоторой пассивной скалярной функции, конвективной переносимой вместе с текущей средой. При этом измерительной системой регистрируются пульсации переносимой с потоком скалярной величины.

Для проведения исследований была использована кондуктометрическая измерительная система: пространственные кондуктометрические датчики сетчатой конструкции [2] и измерительный комплекс ЛАД-36 [3]. В качестве примеси использовалась незначительная концентрация раствора соли (NaCl или Na₂SO₄). Исследования проводились в экспериментальной модели (рис. 1), представляющей собой канал квадратного сечения 50x50 мм, в котором происходит смешение спутных потоков с различными удельными проводимостями, создаваемыми примесью.

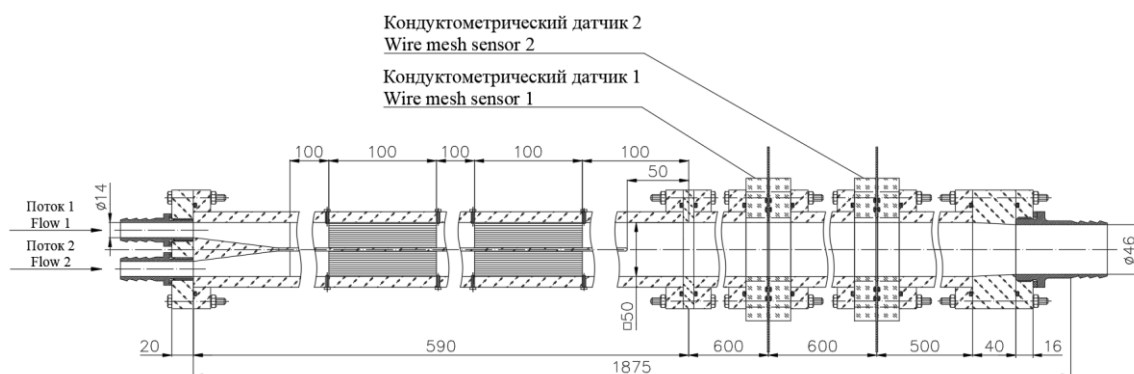


Рис. 1. Экспериментальная модель

В результате обработки экспериментальных данных были получены спектральные оценки плотности мощности пульсаций концентрации, автокорреляционные функции измерительного сигнала, гистограммы распределения плотности вероятности пульсаций проводимости в зоне смешения, которые использовались при дальнейшей оценке масштабов турбулентности.

В работе представлены результаты серии экспериментов, изложен порядок проведения исследований на лабораторном стенде, проведена обработка сигналов пространственных датчиков, а также изложена методика оценки макро и микромасштабов турбулентных структур в потоке. Полученные оценки пространственных и временных масштабов согласуются по порядку со значениями, рассчитанными теоретически [4] (табл.).

Таблица. Теоретические и экспериментальные значения частот основных энергонесущих вихрей

Число Рейнольдса, $Re \cdot 10^{-3}$	Характерная частота основных энергонесущих вихрей f_E , Гц	Оценка характерной частоты по критерию Струхаля $Sh \approx 0,2$, Гц
19,0	0,55	0,88
24,4	1,02	1,04
28,4	1,03	1,20

Результаты работы могут быть в дальнейшем использованы при выборе валидационной метрики для расчетных моделей семейства LES.

Список литературы

1. Баринов А.А., Дмитриев С.М., Хробостов А.Е., Самойлов О.Б. Методы обоснования теплотехнической надежности активной зоны тепловых водо-водяных реакторов // Атомная энергия, Т. 120, №. 5, Май 2016. С. 270-276.
2. Prasser H.M., Bottger A., Zschau J. A new electrode-mesh tomograph for gas-liquid // Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 9, 1998. pp. 111-119.
3. Баринов А.А., Варенцов В., Главный В.Г., Дмитриев С.М., Легчанов М.А., Рязанов А.В., Хробостов А.Е. Внедрение метода пространственной кондуктометрии для экспериментального изучения процессов смешения внутриреакторных потоков в современных ЯЭУ // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Т. 117, N. 2, 2017. С. 35-41.
4. Снегирёв А.Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: Учебное пособие. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. - 143 с