

УДК 621.039

**КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ
ГИДРОДИНАМИКИ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА
МАТРИЧНОЙ КОНДУКТОМЕТРИИ**

ЧЕСНОКОВ А.А., ХРОБОСТОВ А.Е., БАРИНОВ А.А., КОНОВАЛОВ И.А., МАКАРОВ М.А.

*Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексева
(Нижний Новгород, Российская Федерация)*

Аннотация. В энергетическом машиностроении широко известен метод корреляционного определения скорости потока. В данной работе авторами произведена адаптация данного метода для применения с пространственной кондуктометрической системой. Оценка скорости потока осуществлялась за счет определения времени транспорта турбулентных структур между чувствительными элементами измерительной системы. В качестве переносимых возмущений использовались пульсации проводимости среды, создаваемый пассивной скалярной примесью.

Ключевые слова: измерительная система, матричная кондуктометрия, корреляционный метод измерения расхода, моделирование процессов в элементах ЯЭУ.

**CORRELATION VELOCITY MEASUREMENTS IN RESEARCHES OF HYDRODYNAMIC
OF TURBULENT FLOWS WITH APPLICATION OF MATRIX CONDUCTOMETRY**CHESNOKOV A.A., KHROBOSTOV A.E., BARINOV A.A.,
KONOVALOV I.A., MAKAROV M.A.*Nizhny Novgorod State Technical University named R.E. Alekseev
(Nizhny Novgorod Russian Federation)*

Abstract. In the energy mechanical engineering method of correlation velocity measurements are widely known. In this paper authors adapted and tested this method for using with conductometry measurements system, which is used in research practice. The velocity of flow was estimated by determining turbulence transport time between sensors. Pulsation of concentration, created by adding tracer in flow, are used as transported fluctuations.

Keywords: measurement system, matrix conductometry, correlation method, flow rate measurement, modeling of processes in the elements of a nuclear power units.

Мировой рынок атомной энергетики проходит стадию трансформации. Все больше внимания уделяется вопросу надежности и эффективности энергетических установок и обслуживающих систем. Одним из показателей, играющих важную роль при обосновании безопасности реакторных установок (РУ) является распределение скоростей и расходов теплоносителя в ее элементах. Примером может служить распределение поканальных расходов теплоносителя через активную зону, которое может оказывать воздействие на реактивность. Помимо прочего, расчетные модели, используемые при проектировании новых РУ постоянно совершенствуются и, в соответствии с этим, требуют проведения валидационных и верификационных экспериментов на масштабных моделях, что в свою очередь делает актуальной задачу разработки новых средств контроля указанных показателей для применения в составе исследовательских стендов.

На современном этапе развития известен корреляционный метод измерения расхода теплоносителя, широко применяемый для эксплуатационной диагностики ядерных энергетических установок. В его основе лежит анализ показаний детекторов гамма-излучения, обусловленного активацией изотопа N^{16} в нейтронном поле активной зоны [1]. Но для лабораторных исследований данный метод не применим из-за отсутствия необходимых радионуклидов в потоке.

Альтернативным решением для экспериментальных исследований является построение измерительной системы на базе применения сетчатых кондуктометрических датчиков (СД) [2]. Основой применяемого метода измерения расхода является определение времени транспорта турбулентных пульсаций потока рабочей среды между двумя измерительными сечениями, которые обусловлены приемниками первой и второй измерительной плоскости соответственно. На основе полученных реализаций УЭП, путем применения взаимно корреляционной функции удельных проводимостей, получены реализации скоростей в ячейках СД.

Измерения проводились в экспериментальной модели квадратного сечения 50×50 мм [3]. СД устанавливались в зоне интенсивного смешения. Измерения расхода среды производились в диапазоне от $0,173 \text{ м}^3/\text{час}$ ($Re = 900$) до $2,64 \text{ м}^3/\text{час}$ ($Re = 12 \cdot 10^3$), действительный расход фиксировался штатными расходомерами.

Полученные значения скоростей сильно зависят от положения измерительных ячеек в исследуемом сечении, что объясняется значительной разностью турбулентных пульсаций в центре и на периферии и влечет за собой разницу между взаимными корреляциями ячеек периферии и центральной областью (рис. 1). При расчете осредненной по сечению скорости потока использовались весовые коэффициенты учитывающие расположение измерительных ячеек.

Также была проведена оценка доверительных интервалов при определении максимума взаимно-корреляционной функции (ВКФ), что позволяет сделать вывод о низком влиянии шума, регистрируемого измерительной системой в исследуемый сигнал [4].

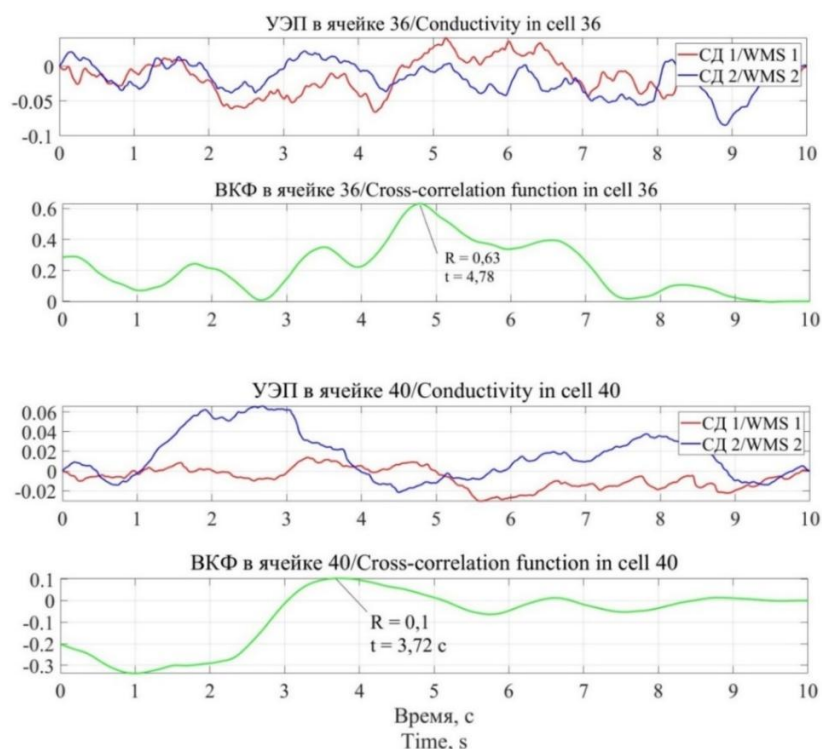


Рис. 1. Реализации УЭП и ВКФ при $Re=6300$ для центральных и периферийных ячеек

Результаты измерений дают приемлемое согласие с показаниями штатных расходомеров для характерных турбулентных режимов течения (погрешность измерения скорости потока при помощи кондуктометров составляет менее 5 %).

Список литературы

1. Mattson H., Owrang F., Nordlung A. Utilisation of N16 in Nuclear Power Plants // Department of Reactor Physics. Chalmers University of Technology, Gbteborg Sweden, 2003
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. Хробостов А.Е., Легчанов М.А., Солнцев Д.Н., Баринов А.А., Коновалов И.А., Чесноков А.А., Макаров М.А. Исследование гидродинамики стратифицированных турбулентных потоков для валидации расчетных подходов к моделированию тепловых процессов в оборудовании // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Т. 126, N. 3, 2019. С. 111-119.
4. Bendat J., Piersol A. Random Data: Analysis and Measurements Procedures. Fourth Edition. – John Wiley & Sons., 2012. – 640 p.