

АЛГОРИТМ СИНТЕТИЧЕСКОЙ КОМПЛЕКСНОЙ КРОСС-КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА В ПЛАЗМЕ ТОКАМАКА ^{*)}

^{1,2}Кукушкин А.Б., ¹Демура А.В., ¹Куличенко А.А., ¹Левашова М.Г., ^{1,3}Леонтьев Д.С.,
¹Лисица В.С., ^{1,2}Минашин П.В., ¹Сдвиженский П.А., ^{1,2}Филипенко Д.Р.,
^{1,2}Хуснутдинов Р.И., ¹Шурыгин В.А.

¹НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, Kukushkin_AB@nrcki.ru,

²НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия,

³МФТИ (НИУ), Москва, Россия.

Развитие синтетических диагностик параметров плазмы в токамаках-реакторах предполагает активное использование предсказательного интегрированного численного моделирования динамики термоядерной плазмы. При этом в описании процессов переноса тепла и частиц все еще остается немало компонент, использующих феноменологические (т.е. не из первых принципов) модели. Это прежде всего касается процессов переноса поперек сильного магнитного поля.

В настоящей работе сформулированы основные принципы и алгоритм синтетической комплексной кросс-корреляционной диагностики таких процессов, основанной на использовании кросс-корреляционного подхода к получению и анализу экспериментальных данных. Такой подход уже давно используется для отдельно взятых диагностик: наиболее успешно, на наш взгляд, в кросс-корреляционной рефлектометрии флуктуаций плотности плазмы. Так, в [1, 2] в формализме интегро-дифференциальных уравнений нелокального переноса в режиме «прогулок Леви» показано, что ключевой параметр нелокальности переноса флуктуаций плотности по малому радиусу плазмы, наблюдаемых в токамаке Т-10 [3], близок к аналогичному параметру в эмпирическом законе Ричардсона для гидродинамической турбулентности газов и жидкостей. Обобщение в [4] аналитического вида кросс-корреляционной функции [1] на случай линейной связи флуктуаций плотности плазмы и электрического поля в плазме позволяет использовать подход [1] для интерпретации измерений других диагностик (зондовых и пучковых).

Дальнейшее обобщение охватывает кросс-корреляционный анализ флуктуаций таких параметров как температура (используя томсоновское рассеяние и ЭЦ-излучение на малых гармониках при дополнении непрерывным и линейчатым спектрами излучения плазмы), напряженность магнитного поля (используя MSE-диагностику), параметры примесей (используя CXRS-диагностику).

Алгоритм синтетической комплексной кросс-корреляционной диагностики требует измерений, которые допускают расчет парных корреляций между различными магнитными поверхностями (напр., в рефлектометрии вектор рассеяния должен быть направлен по малому радиусу). Расчеты радиальных и спектральных характеристик парной корреляционной функции нужны для решения обратной задачи нахождения функций распределения флуктуаций по их длине свободного пробега, что позволит характеризовать степень нелокальности процессов переноса.

Литература

- [1]. Kukushkin A.B., Kulichenko A.A. 2022 *Symmetry* **14**(6), 1265 (32 pages).
- [2]. Кукушкин А.Б., Куличенко А.А. 2022 Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез **45**(2), 105-122.
- [3]. Urazbaev A.O., Vershkov V.A., Soldatov S.V., Shelukhin D.A. 2006 *Plas. Phys. Rep.* **32**, 443–460.
- [4]. Кукушкин А.Б., Куличенко А.А. Сборник тезисов докладов I Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС, 20–24 марта 2023, ICRAF-2023, с. 97.

^{*)} [DOI – тезисы на английском](#)