

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ИНКРЕМЕНТА НЕУСТОЙЧИВОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПЛАЗМЫ ТОКАМАКА \*)

<sup>1,2</sup>Чукашев Н.В., <sup>1,3</sup>Пустовитов В.Д.

<sup>1</sup>НИИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, e-mail: [chukashev\\_nv@nrcki.ru](mailto:chukashev_nv@nrcki.ru)

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

<sup>3</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Современная аналитическая теория привлекает для расчётов инкремента неустойчивости вертикального положения плазмы (Vertical Displacement Event, VDE) модели равновесия разного уровня сложности [1- 4]. Простейшая из них основана на так называемом приближении «жестких стержней», в котором плазма и стенка заменяются простыми параллельными проводниками [1, 2]. Взаимодействие плазмы и стенки описывается амперовскими силами притяжения или отталкивания токов. Такая модель позволяет ухватить качественные закономерности динамики проводника, имитирующего плазменный шнур в квадрупольном магнитном поле, но предсказывает идеальную неустойчивость даже в случае, когда плазма окружена проводящим кожухом.

Для учёта реакции вакуумной камеры на вертикальное смещение плазмы ранее использовалась модель равновесия Гаджевского для прямого плазменного шнура с эллиптической границей и однородной плотностью тока [5]. Стенка рассматривалась как тонкая оболочка, сечение которой имеет форму эллипса, конфокального границе плазмы. В литературе известны всего два примера [3, 4], когда описанный подход применялся для расчёта инкремента VDE в токамаке с резистивной стенкой, однако обе работы дают разные результаты. При этом провести их исчерпывающее сравнение не представляется возможным, поскольку в [3] формула для инкремента вертикальной неустойчивости даётся без вывода.

В подобной ситуации единственным способом установления верного результата является вычисление инкремента неустойчивости с помощью альтернативного метода. В нашей работе для этого предлагается использовать метод функции Грина в сочетании с недавно развитой моделью равновесия [6]. Во-первых, это позволит обобщить ранее полученные результаты на случай произвольной плотности тока в плазме. Во-вторых, вместо граничного условия на стенке, связывающего внешнее решение задачи равновесия с диффузией магнитного потока через проводник [3, 4], используется интегральное уравнение динамики токов индукции. Его главным преимуществом является возможность избавиться от нефизических ограничений на геометрию задачи в виде конфокальности границы плазмы и стенки, а также развитая техника нахождения аналитических решений [6].

### Литература

- [1]. Kiramov D.I., Breizman B.N., Phys. Plasmas, 2017, 24, 100702
- [2]. Pfefferle D., Bhattacharjee A., Phys. Plasmas, 2018, 25, 022516
- [3]. Wesson J.A., Nucl. Fusion, 1978, 18, 87
- [4]. Barberis T. et al, J. Plasma. Phys., 2022, 88, 905880511
- [5]. Gajewski R., Phys. Fluids, 1972, 15, 70
- [6]. Pustovitov V.D., Chukashev N.V., Phys. Plasmas, 2023, 30, 042505

\*) [DOI – тезисы на английском](#)