

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВЫХ РАВНОВЕСНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ И СЦЕНАРИЯ ДЛЯ ПЕРВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ТОКАМАКЕ Т-15МД С ПОМОЩЬЮ КОДА TOKSCEN^{*)}

^{1,2}Сычугов Д.Ю., ¹Рыжаков Д.В., ¹Андреев В.Ф., ¹Балашов А.Ю., ¹Горбунов А.В.,
^{1,3}Кирнева Н.А., ¹Кислов Д.А., ¹Ноткин Г.Е., ¹Сушков А.В., ¹Тарасян К.Н.,
¹Шелухин Д.А., ¹Хайрутдинов Э.Н.

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

²МГУ им. М.В. Ломоносова Москва, Россия, sychugov@cs.msu.ru

³НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

К концу 2023 г. в рамках энергетического пуска на термоядерной установке токамак Т-15МД (Россия, НИЦ «Курчатовский институт») [1] проведены две экспериментальные кампании. Для получения равновесных магнитных конфигураций и обеспечения устойчивых сценариев разряда была проведена серия расчетов по коду TOKSEN.

Основной задачей осенней кампании было получение разряда с током плазмы в диапазоне сотен килоампер. Для этого предварительно был проведен численный анализ разрядов весенней пуско-наладочной кампании. На основании моделирования разрядов с неустойчивым равновесием плазмы по вертикали [2] получены соотношения для токов в секциях индуктора CS1, CS2 и CS3 и управляющих обмотках PF2-PF5, позволяющие обеспечить устойчивость плазмы по вертикали при использовании различных комбинаций токов в секциях индуктора и полоидальных обмотках. Расчеты проведены с учетом актуальных ограничений на токи в обмотках управления. Была проанализирована чувствительность результатов численных расчетов к положению плазменного шнура и внутренней индуктивности плазмы, которые являются входными параметрами при решении задачи равновесия. Показано, что изменение внутренней индуктивности плазмы для скинированного и пикированного распределения тока слабо влияет на токи в обмотках.

В результате моделирования отработана методология формирования устойчивого по вертикали плазменного шнура, сценария роста тока плазмы, контроля расстояния между шнуром и стенками вакуумной камеры и управления его перемещениями. Показано, что для обеспечения устойчивости плазмы по вертикали в течение всей длительности импульса, необходимо обеспечить выполнение соотношения $(I(PF3)+I(PF4))/(I(PF2)+I(PF5))>2$ на всей стадии разряда $(I(PF2)-I(PF5))$ – токи в соответствующих обмотках управления). При получении разрядов с током плазмы >100 кА и длительностью 600 мс и больше необходимо было обеспечить оптимальное положение плазменного шнура по горизонтали, чтобы уменьшить взаимодействие плазмы со стенкой на стороне сильного магнитного поля. В результате расчетов получены соотношения токов, позволившие решить все поставленные задачи в ходе экспериментов.

В данной работе приводятся результаты сравнения экспериментов с расчетами, в том числе с теми, которые были сделаны заранее и носили характер прогноза. Работы велись как на стадиях подготовки, так и при реализации экспериментов, что позволило оперативно корректировать сценарии разряда с учетом текущей экспериментальной информации. Был получен большой опыт отработки и реализации сценариев разрядов на токамаке Т-15МД.

Работа проведена в рамках выполнения Государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Литература

- [1]. Khvostenko P.P. et al. Current status of tokamak T-15MD // Fusion Engineering and Design. – 2021. – Т. 164. – С. 112211.
- [2]. Сычугов Д.Ю. и др. Труды факультета вычислительной математики и кибернетики им. М.В. Ломоносова, т.75, с. 2-20. Изд. МАКС Пресс Москва, 2023.

^{*)} DOI – тезисы на английском