

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАГРЕВА ПЛАЗМЫ В ИОННО-ЦИКЛОТРОННОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ В ТОКАМАКЕ Т-15МД ^{*)}

¹Третинников П.В., ¹Мареев А.С., ¹Корепанов П.А., ²Губин А.М., ¹Гусаков Е.З.,
¹Ирзак М.А., ¹Трошин Г.А., ¹Теплова Н.В.

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 26 Политехническая, 194021, Санкт-Петербург, Россия,
post@mail.ioffe.ru

²НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, дорога на Металлострой, дом 3, поселок
Металлострой, Санкт-Петербург, 196641, Россия, mail@niiefa.spb.su

Метод ионно-циклотронного нагрева широко применяется на токамаках по всему миру (ASDEX-Upgrade [1], JET [2]) и рассматривается как стандартный инструмент для повышения температуры ионного компонента плазмы, в частности на токамаке-реакторе ИТЭР [3]. Токамак Т-15МД является ведущей установкой типа токамак в Российской Федерации. Реализация на нем метода ионно-циклотронного нагрева позволит существенно улучшить параметры плазменного разряда в токамаке и приблизить уровень проводимых на нем исследований к мировому.

В данной работе впервые выполнено моделирование нагрева плазмы в ионно-циклотронном диапазоне частот в различных режимах разряда токамака Т-15МД с различными значениями магнитного поля от 1 Тл до 2 Тл. Для решения этой задачи разработан одномерный численный код, решающий в цилиндрической системе координат волновое уравнение с тензором диэлектрической проницаемости с учетом тепловых поправок на основе кинетического анализа [4]. В рамках используемой цилиндрической модели проведен расчет согласования с плазмой много-петлевой антенны и определен спектр БМЗ волн, излучаемых в плазму при различной фазировке петель антенны.

Планируемые операционные режимы работы токамака Т-15МД предполагают водородный и гелиевый состав плазмы, в частности в данной работе проанализирован нестандартный сценарий нагрева на первой циклотронной гармонике малой добавки тяжелой примеси (He4) в водородной плазме. Также промоделирован режим нагрева на первой гармонике водорода как малой добавки в гелиевой плазме и на второй гармонике водорода. К преимуществу последнего режима относится слабое влияние легких и тяжелых примесей, ожидаемых в Т-15МД, на процесс нагрева. Также рассмотрен сценарий нагрева электронной компоненты плазмы волнами в ионно-циклотронном диапазоне частот и проведена оценка генерируемого ими тока в зависимости от фазировки много-петлевой антенны. На основании проведенного анализа были сделаны практические рекомендации по выбору сценариев нагрева для Т-15МД, включая частоты генератора и фазировку антенны.

Литература

- [1]. F. Braun, F. Hofmeister, F. Wesner, W. Becker, H. Faugel, D. Hartmann, J.-M Noterdaeme (2001) *Fusion Engineering and Design* V. **56–57**, Pages 551-555; [https://doi.org/10.1016/S0920-3796\(01\)00274-5](https://doi.org/10.1016/S0920-3796(01)00274-5)
- [2]. H. J. Sun, T. Wauters, P. J. Lomas et al (2023) *Plasma Phys. Control. Fusion* **65** 095009; <https://doi.org/10.1088/1361-6587/ace6d2>
- [3]. T. Bensadon, M. J. Mantsinen, T. Jonsson, D. Gallart, X. Sáez and J. Manyer (2024) *Plasma*, **7(3)**, 517-530; <https://doi.org/10.3390/plasma7030028>
- [4]. M. Brambilla (1989) *Plasma Phys. Control. Fusion* **31** 723; <https://doi.org/10.1088/0741-3335/31/5/004>

^{*)} DOI – тезисы на английском