

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЯЗИ АНТЕННА-ПЛАЗМА ДЛЯ ВОЛН В ДИАПАЗОНЕ ИОННО-ЦИКЛОТРОННЫХ ЧАСТОТ *)

^{1,2}Недбайлов К.О., ^{1,2}Науменко П.Р.

¹НИИЦ "Курчатовский институт", г. Москва, Россия

²Московский физико-технический институт (НИУ), г. Москва, Россия

Ионно-циклотронный резонансный нагрев (ИЦРН) является одним из ключевых методов дополнительного нагрева плазмы в установках для магнитного удержания. Одна из важнейших задач ИЦР нагрева плазмы – это максимизация эффективности связи антенна-плазма (сопротивление связи). ВЧ мощность, вводимая в плазму равна:

$$P_{ВЧ} = \frac{1}{2} I_{ант}^2 R_{связи} \quad (1)$$

где $I_{ант}$ – амплитуда высокочастотного тока, протекающего по антенне, $R_{связи}$ – сопротивление связи (вещественная часть импеданса антенна-плазма). Таким образом, чтобы передать плазме наибольшую мощность необходимо добиться максимально возможного сопротивления связи антенна-плазма. Импеданс системы антенна-плазма зависит от параметров плазмы, фазировки возбуждающих токов антенны и конструкции антенного узла.

Основным инструментом анализа эффективности связи антенна-плазма является собственный код компьютерного моделирования, основанный на плоскостной модели холодной плазмы, в которой не учитывается продольная магнитному полю компонента электрического поля волны [1, 2]. Для решения волнового уравнения в холодной плазме используется линеаризованное выражение квадрата поперечного волнового вектора быстрой магнитозвуковой (БМЗ) волны $k_{\perp}^2$. В рамках этой модели проведена оценка погрешности, вносимой линейным приближением в точность определения импеданса антенна-плазма. Исследовано влияние фазировки возбуждающих токов антенны на эффективность связи. Выполнены расчеты импеданса антенна-плазма 4-х полосной антенны для геометрии и параметров плазмы токамака Т-15МД, представленных в работах [3, 4]. Продемонстрирована возможность обеспечения максимальной эффективности связи посредством подбора оптимальных параметров антенного узла, таких как положение антенны в патрубке, расстояние от антенны до сепаратрисы плазмы, ширина патрубка, ширина пластин и расстояние между пластинами антенны. Исследована зависимость импеданса от величины центральной плотности плазмы.

Полученные результаты согласуются с работами на различных мировых установках [5, 6]. Таким образом, реализованный код является полезным инструментом для проектирования антенны ИЦР-нагрева и исследования эмпирического поведения эффективности связи антенна-плазма.

Литература

- [1]. Naumenko P.R., Nedbailov K.O., Chernenko A.S. Plasma Physics Reports. – 2024. – Т. 50. – №. 9. – С. 1122-1141.
- [2]. Vdovin V.L. Nuclear fusion. – 1983. – Т. 23. – №. 11. – С. 1435.
- [3]. Днестровский Ю.Н. и др. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез – 2022. – Т. 45. – №. 1. – С. 9-28.
- [4]. Melnikov A.V. et al. Fusion Engineering and Design. – 2015. – Т. 96. – С. 306-310.
- [5]. Zhang J.H. et al. Nuclear Fusion. – 2017. – Т. 57. – №. 6. – С. 066030.
- [6]. Maggiora R. et al. Nuclear fusion. – 2004. – Т. 44. – №. 8. – С. 846.

*) [DOI – тезисы на английском](#)