СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ МНОГОПРОХОДНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ЦИКЛОТРОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ИНЖЕКТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ПЛАЗМОЙ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ РАЗРЯДА В ТОКАМАКАХ *)

[1]Минашин П.В., [1,2]Филипенко Д.Р., [1,2]Кукушкин А.Б.

[1]НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, Minashin_PV@nrcki.ru,
[2]НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия.

Электронно-циклотронный (ЭЦ) резонансный нагрев широко используется в действующих токамаках на квазистационарной стадии разряда для дополнительного нагрева плазмы и генерации неиндуктивного тока [1]. Но в больших токамаках со сверхпроводящими катушками (ИТЭР, ДЕМО) ЭЦ-нагрев будет применяться и на начальной стадии разряда (предионизация, преодоление радиационного барьера, стадия подъема тока). Это связано с технологическими особенностями, из-за которых достижимая величина ускоряющего тороидального электрического поля мала по сравнению с необходимым значением для ионизации плазмы и генерации плазменного тока, что приводит к невозможности надежного получения плазмы с помощью чисто омического нагрева [2], [3], [4].

Температура и плотность плазмы на начальной стадии разряда в токамаках таковы, что невозможно реализовать полное ЭЦ-поглощение инжектированной в плазму электромагнитной (ЭМ) волны на одном проходе волны до отражения от первой стенки. Поэтому при моделировании начальной стадии разряда в токамаках для сценариев с использованием дополнительного ЭЦ-нагрева требуется учитывать многопроходное ЭЦ-поглощение волн. Такое моделирование можно проводить с помощью разных моделей: (1) модифицированные лучевые коды для расчета ЭЦ-нагрева, в которых учитываются несколько проходов ЭЦ-волны, изменение поляризации ЭЦ-волн при отражении от стенки и поглощение волны в стенке (как, например, в коде TORAY [5]); сюда относятся и лучевые коды, упрощенные для условий начальной стадии разряда (использование аналитических коэффициентов поглощения ЭЦ-волн в разреженной максвелловской плазме [6]); (2) модель для учета многопроходного поглощения в приближении изотропного и однородного размешивания излучения после первого отражения от стенки вакуумной камеры [7] (модель кода CYNEQ для переноса собственного ЭЦ-излучения плазмы на немалых гармониках основной ЭЦ-частоты [8]) и мультирезонаторная модель для расчета излучения, рассеянного при отражении ЭМ-волн, инжектированных системой ЭЦ-нагрева плазмы [9].

В работе проведено сравнение существующих подходов к моделированию многопроходного ЭЦ-поглощения инжектированных ЭМ-волн плазмой на начальной стадии разряда в токамаках.

Литература

[1]. Prater R., Physics of Plasmas, 2004, 11, 2349-2376.
[2]. Lloyd B., Carolan P.G., Plasma Phys. and Contr. Fusion, 1996, 38, 1627-1643.
[3]. Stober J., Jackson G.L., Ascasibar E., Bae Y.S., et al., Nuclear Fusion, 2011, 51, 083031.
[4]. de Vries P.C., Gribov Y., Nuclear Fusion, 2019, 59, 096043.
[5]. Granucci G., Garavaglia S., Ricci D., Artaserse G., et al., Nuclear Fusion, 2015, 55, 093025.
[6]. Bornatici M., Cano R., De Barbieri O., Engelmann F., Nuclear Fusion, 1983, 23, 1153.
[7]. Minashin P.V., Kukushkin A.B., Khayrutdinov R.R., Lukash V.E., EPJ Web of Conferences, 2015, 87, 03005.
[8]. Kukushkin A.B., Proc. 14th IAEA Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research, Wuerzburg, Germany, 1992, IAEA, 2, 35-45.
[9]. Moseev D., Oosterbeek J.W., Sirinelli A., Corre Y., et al., Fusion Engineering and Design, 2021, 172, 112754.

*) DOI – тезисы на английском