

ЗОНДОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ГАЗОНАПУСКОМ В РАСКРЫВЕ НИЖНЕГИБРИДНОЙ АНТЕННЫ ТОКАМАКА ФТ-2 ^{*)}

Дерябина М.В., Шаталин С.В., Лашкул С.И., Алтухов А.Б., Есипов Л.А.,
Дьяченко В.В., Коновалов А.Н.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, РФ, deryabina.mv@edu.spbstu.ru

Поглощение замедленных волн в диапазоне частот нижнего гибридного резонанса лежит в основе одного из высокочастотных методов нагрева плазмы токамаков (Lower-Hybrid Heating, LHH) [1], а также широко применяется для безындукционного возбуждения тока (Lower-Hybrid Current Drive, LHCD) [2]. Одной из экспериментальных проблем является эффективное проникновение LH волны в основную плазму без чрезмерных потерь в приграничном слое (Scrape-Off Layer, SOL).

В докладе приводятся результаты зондовых измерений параметров дейтериевой плазмы SOL в экспериментах по исследованию влияния напуска газа вблизи излучающей антенны на эффективность взаимодействия LH волны с плазмой токамака ФТ-2 [3]. Дополнительный напуск дейтерия сопровождается увеличением частоты столкновений ν и формированием пологого радиального профиля плотности (уменьшение $\text{grad } n$). Возрастание ν должно приводить к подавлению параметрической распадной неустойчивости [4], являющейся одной из причин, препятствующих эффективному поглощению LH волны. Согласно результатам моделирования, уменьшение $\text{grad } n$ в SOL в условиях экспериментов на ФТ-2 улучшает связь антенны с плазмой и приводит к формированию более благоприятного спектра продольных замедлений $N_{\parallel}$, повышающего эффективность LHH и LHCD. Для дополнительного напуска газа использовался импульсный клапан, установленный непосредственно вблизи антенны. Идентичный клапан был установлен в месте расположения подвижного многоэлектродного ленгмюровского зонда [5], что позволяло выполнять зондовые измерения в условиях, аналогичных условиям вблизи LH антенны.

В результате измерений получена эволюция радиальных профилей плотности и температуры электронов в SOL в течение LH импульса. Установлена тороидальная неоднородность параметров плазмы в SOL при локальном напуске газа. Подтверждено формирование профиля с меньшим значением радиального $\text{grad } n$ вблизи фронтальной области антенны в результате дополнительного напуска газа непосредственно в сечении расположения антенны. Напуск газа в сечении LH антенны сопровождался, также, подавлением параметрической распадной неустойчивости.

С помощью измерений ионного тока насыщения, собираемого неподвижным одиночным зондом в сечении LH антенны, было обнаружено резкое уменьшение n во время LH импульса (эффект «вытеснения» плазмы из области SOL под действием давления LH волны). Степень «вытеснения» находилась в прямой зависимости от поступающей LH мощности. Ионный ток, одновременно измеряемый в соседнем сечении, не демонстрировал такой особенности.

Работа токамака ФТ-2 осуществляется в рамках государственного задания FFUG-2024-0028, зондовые измерения выполнены в рамках государственного задания FFUG-2021-0001.

Литература

- [1]. Голант В.Е., Федоров В.И. Высоочастотные методы нагрева плазмы в тороидальных термоядерных установках, Энергоатомиздат, М., 1986
- [2]. Fisch N.J. Phys. Rev. Lett., 1978, 41, 873
- [3]. Лашкул С.И., Алтухов А.Б., Гурченко А.Д. и др. Физика плазмы, 2022, 48, 387
- [4]. Castaldo C. et al. Nucl.Fusion, 2016, 56 016003
- [5]. Шаталин С.В., Векшина Е.О., Висенте Ж. и др. Физика плазмы, 2011, 37, 403

^{*)} DOI – тезисы на английском