Электронный циклотронный резонансный нагрев плазмы в газодинамической ловушке

А.Л. Соломахин, П.А. Багрянский, \*Е.Д. Господчиков, Ю.В. Коваленко, В.В. Максимов, В.Я. Савкин, Е.И. Солдаткина, \*А.Г. Шалашов, Д.В. Яковлев

ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, РФ, A.L.Solomakhin@inp.nsk.su
Новосибирский госуниверситет, Новосибирск, РФ, nsm@nsm.nsu.ru
\*ИПФ РАН, Нижний Новгород, РФ, ags@appl.sci-nnov.ru

На установке газодинамическая ловушка (ГДЛ) в ИЯФ СО РАН, которая является прототипом мощного источника термоядерных нейтронов [1], продолжается успешный эксперимент по дополнительному нагреву плазмы на электронном циклотронном резонансе (ЭЦР) [2]. Нагрев происходит в результате поглощения мощного СВЧ излучения электронами плазмы, находящимися в резонансе с волной. Источником излучения служат два гиротрона “Буран -А” f = 54.5 ГГц, P = 450 кВт, τ = 5 мс каждый. С помощью системы сверхразмерных гофрированных волноводов и квазиоптической трёхзеркальной системы излучение инжектируется в плазму под углом 36 градусов к оси ловушки. При движении волны в неоднородной плазме и неоднородном магнитном поле волна захватывается в плазменный волновод, доставляется до электронного циклотронного резонанса и полностью поглощается [3].

Для получения устойчивого плазменного разряда в условиях дополнительного ЭЦР нагрева параметры эксперимента были оптимизированы. В частности была изменена конфигурация магнитного поля установки и разработан двухступенчатый сценарий подачи потенциала на лимитеры. В результате при инжекции СВЧ излучения наблюдалось существенное увеличение энергосодержания плазмы (до 40%), нейтронного потока (до 70%) и электронной температуры (до 50%) практически по всему сечению плазмы. Это свидетельствует об эффективном поглощении излучения, прогреве всего сечения плазмы вследствие широкого профиля энерговыделения или вследствие поперечного переноса. В итоге это приводит к существенному увеличению времени жизни быстрых частиц в ГДЛ.

Для исследовании возможности удержания в конфигурации ГДЛ плазмы с высокой электронной температурой была проведена специальная серия экспериментов со сниженной плотностью плазмы. В этом режиме с помощью системы томсоновского рассеяния наблюдалось формирование вблизи оси ловушки узкого профиля плазмы радиусом 5 см с максимальной температурой до 700 эВ при радиусе и температуре пьедестала 15 см и 100 эВ соответственно. Эта температура является рекордной для квазистационарных открытых магнитных ловушек. Также в этом режиме зафиксирована генерация рентгеновского излучения с энергией ~ 100 кэВ, что свидетельствует об образовании популяции надтепловых электронов в плазме при ЭЦР нагреве. Пикированный профиль наблюдался через 0.5 мс после начала ЭЦР нагрева. Затем происходило перемешивание плазмы, и профиль температуры выравнивался по сечению. Температура на оси в результате быстро снижалась до 200-300 эВ и практически не изменялась до конца разряда.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №14-12-01007.

Литература

1. A.A.Ivanov and V.V.Prikhodko, Plasma Phys. Control. Fusion, 2013, 55, 063001
2. P.A. Bagryansky et. al., Nuclear Fusion, 2014, 54, 082001
3. A.G.Shalashov et. al., Physics of Plasmas. 2012, 19, 052503