Электронный циклотронный резонансный нагрев плазмы в газодинамической ловушке

А.Л. Соломахин, П.А. Багрянский, Ю.В. Коваленко, В.Я. Савкин, 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

Газодинамическая ловушка (ГДЛ) - аксиально-симметричная открытая магнитная ловушка с большим пробочным отношением, которая является прототипом источника термоядерных нейтронов [1]. Важным параметром, определяющим эффективность подобного нейтронного источника, является электронная температура плазмы. Основным методом нагрева плазмы, используемым на ГДЛ, является инжекция атомарных пучков мощностью 5 МВт с длительностью 5 мс. С помощью такого метода была достигнута температура Te ~ 200 эВ. В нейтронном источнике температура электронов должна быть ~ 1 кэВ. В качестве альтернативы увеличению мощности атомарной инжекции был предложен дополнительный микроволновой нагрев на частоте электронного циклотронного резонанса (ЭЦР).

Параметры плазмы и магнитная система ГДЛ ограничивают применимость стандартных методов ЭЦР нагрева, которые широко применяются на токамаках. Поэтому для ГДЛ был предложен метод нагрева на первой гармонике необыкновенной волны [2]. Волна вводится в плазму поперёк магнитного поля. В процессе транспортировки в плазме волна трансформируется в квазипродольную и эффективно поглощается вблизи ЭЦ резонанса. Основываясь на этом методе, была создана система ЭЦР нагрева плазмы на установке ГДЛ. Она базируется на двух гиротронах f = 54.5 ГГц, P = 450 кВт, τ = 5 мс каждый. С помощью волноводной линии и квазиоптической системы излучение транспортируется и вводится в плазму.

В процессе эксперимента по ЭЦР нагреву обнаружилось негативное влияние паразитного ЭЦ резонанса на поглощение волны в плазме. Он расположен вблизи места ввода излучения в вакуумную камеру. Для того чтобы снизить плотность плазмы вблизи паразитного ЭЦ резонанса было переконфигурировано магнитное поле установки ГДЛ. Энергетические возможности позволили нам создать благоприятную магнитную конфигурацию только для ввода излучения от одного гиротрона. Также для увеличения скорости трансформации волны в квазипродольную мы существенно снизили плотность плазмы.

Предпринятые меры позволили довести излучение до плазмы и поглотить его в центральной области плазмы в рамках предложенного ранее метода ЭЦР нагрева. Во время ввода микроволнового излучения в плазму наблюдалось существенное увеличение как интегральных параметров плазмы, например энергосодержание, так и локальных параметров – электронная температура. Была достигнута рекордная для ГДЛ электронная температура.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 12-02-31580 мол\_а), Министерства образования и науки РФ и программы фундаментальных исследований Президиума РАН (Программа 12, проект №3).

Литература

1. P.A.Bagryansky, A.A.Ivanov, E.P.Kruglyakov, et. al., Fusion Engineering and Design. 2004. Vol.70. P.13-33
2. A.G.Shalashov et. al., Physics of Plasmas. 2012. Vol.19. P.052503