Электронный циклотронный резонансный нагрев плазмы в газодинамической ловушке

А.Л. Соломахин1,2, П.А. Багрянский1,2, Е.Д. Господчиков3,4, Ю.В. Коваленко1,2, В.В. Максимов1,2, В.Я. Савкин1,2, Е.И. Солдаткина1,2, А.Г. Шалашов3,4, Д.В. Яковлев1,2

1Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск, Россия,
 A.L.Solomakhin@inp.nsk.su
2Новосибирский госуниверситет, г. Новосибирск, Россия, nsm@nsm.nsu.ru
3Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия,
 ags@appl.sci-nnov.ru
4Нижегородский госуниверситет, г. Нижний Новгород, Россия, 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). 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 = 3 мс каждый. С помощью системы сверхразмерных гофрированных волноводов и квазиоптической трёхзеркальной системы излучение инжектируется в плазму под углом 360 к оси ловушки. Волна, двигаясь в неоднородной плазме и неоднородном магнитном поле, захватывается в плазменный волновод, доставляется до электронного циклотронного резонанса и полностью поглощается [3].

В первых экспериментах по ЭЦР нагреву плазмы на ГДЛ для создания благоприятных условий для поглощения излучения в плазме было усилено магнитное поле в области пересечения СВЧ пучка с плазмой. При этом из-за ограниченного энергозапаса конденсаторной батареи снизилось магнитное поле в остальной части ГДЛ. Это привело к существенному уменьшению времени жизни быстрых ионов. Для решения этой проблемы мы запустили новый конденсаторный отсек. Это позволило увеличить поле в центральной области ГДЛ до номинального при сохранении повышенного поля в области ЭЦР нагрева. В экспериментах по ЭЦР нагреву плазмы в новой магнитной конфигурации продемонстрировано устойчивое удержание плазмы с температурой свыше 400 эВ и энергосодержанием до 2 кДж.

Начальная плазма в ГДЛ создаётся с помощью дугового источника плазмы, расположенного в расширителе. Плазма из источника проникает в центральную часть ГДЛ через магнитную пробку. При этом значительная часть плазмы отражается от пробки. Вследствие рекомбинации плазмы на плазмоприёмнике в расширителе перед началом основного эксперимента сильно ухудшаются вакуумные условия. Это может приводить к увеличению продольных потерь энергии из ловушки и вызывать электрические пробои плазмоприёмников, на которые подаётся потенциал для реализации механизма вихревого удержания плазмы [4]. Для решения этой проблемы был успешно реализован метод создания начальной плазмы в ГДЛ с помощью системы ЭЦР нагрева плазмы, которая производит СВЧ-пробой газа. В этих условиях достигнуты параметры плазмы сопоставимые с параметрами плазмы, получаемой с помощью дугового источника плазмы. Для проведения эксперимента по ЭЦР нагреву плазмы в таком режиме необходимо увеличить длительность работы гиротронов с 3 мс до 6 мс, что планируется в дальнейшем.

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. A.G. Shalashov et. al., Physics of Plasmas, 2012, 19, 052503.
3. A.D. Beklemishev et. al., Fusion Science and Technology, 2010, 57, 351.