ИНИЦИИРОВАННАЯ ИНЖЕКЦИЕЙ МАКРОЧАСТИЦЫ H-МОДА В ТОКАМАКЕ ТУМАН-3М

Л.Г. Аскинази, А.А. Белокуров, Н.А. Жубр, В.А. Корнев, С.В. Лебедев, А.И. Смирнов, А.С. Тукачинский

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, belokurov@mail.ioffe.ru

Н-мода является необходимым режимом работы для токамака-реактора, поэтому важную роль играет разработка методов инициирования LH-перехода, применимых для плазмы высоких плотностей и температур. Один из таких методов — это инжекция замороженных топливных макрочастиц (пеллет-инжекция).

Переход в режим улучшенного удержания, инициированный пеллетой (макрочастицей), на токамаке ТУМАН-3М впервые наблюдался в 1991 [1] при инжекции замороженного LiD. На DIII-D инжекция водородных пеллет приводила к существенному уменьшению пороговой мощности LH-перехода [2]. В настоящее время токамак ТУМАН-3М оборудован пневматическим инжектором, способным запускать до четырех водородных или дейтериевых пеллет диаметром 0,7 – 1,0 мм со скоростью 400 – 700 м/с в тангенциальном направлении. Тангенциальная инжекция обеспечивает большую протяженность траектории пеллеты в периферийной области и локализацию испарения за пределами магнитной поверхности (r/a) = 0,4.

В экспериментах были зафиксированы разные типы кривой испарения пеллеты (поведения сигнала интенсивности излучения H/D в области испарения). Первый тип — «классическая» кривая испарения с плавным ростом в течение 0,2 – 0,5 мс (одновременно наблюдается рост плотности плазмы в течение того же временного интервала) и гораздо более быстрым спадом свечения. Такой тип кривой испарения обычно наблюдается, когда твёрдая пеллета испаряется в плазме токамака. Кривая испарения второго типа имеет меньшую амплитуду, относительно быстрый рост и долгий (до 5 мс) спад, и предположительно является результатом инжекции испарившегося вещества из-за разрушения пеллеты в пеллетопроводе. Оба сценария взаимодействия пеллеты с плазмой могут приводить к переходу в режим улучшенного удержания, характеризующийся ростом средней плотности после того, как пеллета испарилась, и спадом свечения линии D на периферии, а также спадом локальной электронной плотности и температуры снаружи от крайней замкнутой магнитной поверхности, что соответствует представлениям о поведении этих параметров снаружи от транспортного барьера.

Чтобы определить возможные условия LH-перехода, инициированного пеллетой, была создана простая модель эволюции профиля плотности плазмы с источником частиц, определяемым пеллетой. В качестве основного механизма, определяющего улучшение удержания при испарении пеллеты, было использовано подавление аномального переноса неоднородным радиальным электрическим полем, созданным возмущением концентрации. В результате моделирования были определены характеристики пеллеты (размер и скорость) и фоновой плазмы (плотность и температура), необходимые для инициирования LH-перехода.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 16-32-00360 мол\_а).

Литература

1. Lebedev S.V. et al. H-mode studies on TUMAN-3 and TUMAN-3M, 1996 PPCF 38 1103
2. Gohil P. et al. Investigations of H-Mode Plasmas Triggered Directly by Pellet Injection in the DIII-D Tokamak, 2001 PRL 86 644