результаты экспериментов на токамаке Т-10 с вольфрам-литиевыми диафрагмами

Немец А.Р., Коллектив Т-10

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, Nemets\_ar@nrcki.ru

На токамаке Т-10 были продолжены эксперименты с использованием W-диафрагм и подвижного литиевого лимитера, созданного на основе капиллярно-пористой структуры. За счет литиизации камеры удалось значительно снизить поступление примесей в разряд при OH а также при ЭЦР-нагреве мощностью до 2.5 МВт, снизить напряжение на обходе плазменного шнура и улучшить воспроизводимость разряда в широком диапазоне параметров плазмы. В этих условиях были получены режимы с полным замещением индукционного тока величиной до 100 кА. Продемонстрировано эффективное удаление примесей C и W при центральном ЭЦР-нагреве и обнаружена их аккумуляция у оси шнура при нецентральном ЭЦР-нагреве.

Показано, что уровень легких примесей после литиизации снижается за счет осаждения лития на внутрикамерных элементах, а не за счет его потока с литиевой диафрагмы в разряд. Обнаружено, что литиевая пленка на поверхности токовой диафрагмы сохраняется крайне непродолжительное время после литиизации (2-5 разрядов установки). Это может свидетельствовать о том, что снижение распыления вольфрама на длительное время обусловлено в большей степени уменьшением концентрации примесей C, N, O в плазме.

Продолжение экспериментов по исследованию транспорта собственных и инжектированных примесей позволило получить общее выражение для коэффициентов аномального переноса всех примесей плазмы (ядра Не, С, O и ионы W) в омическом режиме.

В результате исследований флуктуаций плотности плазмы методом корреляционной рефлектометрии подтверждена сильная полоидальная асимметрия турбулентности. Сравнение корреляционных характеристик квазикогерентных колебаний (f ~ 100 кГц) вдоль силовых линий при изменении направления магнитного поля и тока плазмы позволило сделать вывод о том, что колебания имеют дрейфовую, а не магнитную природу и распространяются с наружной стороны тора на внутреннюю со скоростью порядка ионно-звуковой.

C помощью диагностики пучком тяжелых ионов была исследована эволюция профилей электрического потенциала плазмы в омических режимах с нарастанием плотности и в режимах с дополнительным ЭЦР-нагревом. Обнаружены дальние (1/2 тора) корреляции колебаний потенциала плазмы, измеряемого ленгмюровскими зондами на периферии и пучком тяжелых ионов в основной плазме на частотах ГАМ и тиринг-мод.

Изучено влияние радиационного охлаждения периферии на режим удержания плазмы в условиях вольфрам-литиевых диафрагм. Показано, что при инжекции газов Ne и He с потоками до 1.5∙1021 частиц/с возрастает энергосодержание плазмы как в омическом режиме, так и при дополнительном ЭЦР-нагреве. В разрядах с инжекцией гелия обнаружено увеличение предельной плотности плазмы по сравнению с разрядами без напуска примеси.

Продолжаются исследования разрушения и эрозии элементов лимитеров Т-10, изготовленных из вольфрама марки ВМП (материал пластин дивертора ИТЭР). В диапазоне тепловых нагрузок 1-5 МВт м-2 наблюдается интенсивное растрескивание W элементов. На внутренней стороне кольцевого лимитера в разрядах с мощным ЭЦР нагревом в зоне интенсивного выхода энергии W-элементы подвергаются особенно сильному растрескиванию и оплавлению. Предполагается, что значительную роль в их разрушении играют униполярные дуги, многочисленные следы которых наблюдаются на поверхности вольфрама.

Работа выполнена при поддержке Госкорпорации РОСАТОМ и РНФ, проект 14-22-00193