обзор недавних экспериментов на токамаке Т-10 с полностью металлической камерой

Сарычев Д.В., Булдаков М.А., Вершков В.А., Грашин С.А., Днестровский Ю.Н., Кирнева Н.А., Ключников Л.А., Крупин В.А., Мельников А.В., Неудачин С.В., Ноткин Г.Е., Нургалиев М.Р., Павлов Ю.Д., Саврухин П.В., Шелухин Д.А.
и команда Т-10

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, dmvsar@yandex.ru

В течение длительного времени на токамаке Т-10 использовались графитовые рельсовый и круговой лимитеры. Было обнаружено сильное возрастание уровня легких примесей в плазме при мощности дополнительного ЭЦ нагрева, превышающей ~2 МВт. С целью снижения уровня примесей в режимах с мощным нагревом и для получения опыта работы с вольфрамовыми поверхностями, обращенными к плазме, в 2015 году оба графитовых лимитера заменены на вольфрамовые. Однако после перехода к полностью металлической камере уровень легких примесей остался высоким, что может объясняться неполной очисткой камеры, а также сорбцией примесей массивными холодными вольфрамовыми диафрагмами. Кроме того, наблюдались поступление вольфрама в плазму и его аккумуляция в центре с сильным ростом центральных радиационных потерь.

Для исследования возможностей применения лития для защиты поверхностей, обращенных к плазме, и снижения поступления вольфрама и легких примесей в плазму, на Т-10 проведены эксперименты с дополнительным подвижным литиевым лимитером. Впервые на токамаке были получены результаты по защите вольфрама с помощью лития в ОН и ЭЦН режимах (PЭЦН=1-1,5 МВт). Обнаружено, что при использовании лития содержание вольфрама в центре плазмы падает более чем на порядок, в то время как приток W в плазму снижается в 2-4 раза. Необходимо отметить, что снижение притока вольфрама связано главным образом с экранированием W литиевым покрытием, а не со снижением распыления, т.к. электронная температура вблизи лимитеров после литиезации возрастает с ~25 до 50 эВ. В то же время наблюдалось резкое падение уровня легких примесей в плазме со снижением эффективного заряда с ~2,5 до 1, а также улучшение значений времени удержания энергии и предельной плотности. Несмотря на существенное влияние лития на параметры плазмы, уровень лития в плазме оставался низким как в ОН, так и в ЭЦР режимах. Плотность лития в центре плазмы составляла ~0,5% от плотности электронов. Актуальной остается проблема сбора и удаления лития, необходимая при его применении в реакторных условиях. Предложенные схемы предотвращения осаждения лития на стенки камеры и циркуляции лития [1] нуждаются в дополнительной экспериментальной проверке. Эти исследования планируется продолжить на Т-10 в экспериментах 2017 года.

Проведено изучение возможности контроля аккумуляции тяжелой примеси в плазме. Показано, что очистка плазмы от легких примесей приводит к значительному (в 10-15 раз) падению аккумуляции вольфрама за счет снижения вклада в перенос неоклассических эффектов. Также продемонстрировано экспериментально и описано в модели эффективное удаление вольфрама из центра плазмы посредством центрального ЭЦН.

Исследование флуктуаций плотности корреляционной рефлектометрией подтвердило уменьшение амплитуды флуктуаций на стороне сильного поля. Моделирование показало, что этот эффект можно объяснить нелокальностью рефлектометрии. Изучены тороидальные корреляции на длине 2,5 м вдоль линий поля. С помощью пучка тяжелых ионов обнаружено трехволновое взаимодействие между ГАМ и широкополосной турбулентностью.

Работа поддержана РФФИ (17-07-00883 и 17077-00544), и Росатомом (Н.4х.241.9Б.17.1011).

Литература

1. MIRNOV S.V. et al., Nucl. Fusion, 2011, 51, 073044.