Коротковолновая турбулентность – переходные процессы при электронно-циклотронном нагреве плазмы на стеллараторе Л2-М

Г.М. Батанов, В.Д. Борзосеков, Д.Г. Васильков, Е.М. Кончеков, Д.В. Малахов, К.А. Сарксян, В.Д. Степахин, Н.К. Харчев

Институт общей физики им А.М. Прохорова РАН

При центральном нагреве плазмы в токамаках и стеллараторах [1-5] наблюдается эффект «быстрого выноса частиц» (density pump-out) из области ЭЦ нагрева, вызывающий уплощение профиля плотности и образование профилей с минимумом плотности заряженных частиц на оси плазменного шнура. До сих пор остается открытым вопрос о роли неустойчивостей плазмы в перестройке профилей плотности в процессе включения/выключения ЭЦ нагрева. В настоящей работе изучалась временная эволюция коротковолновой турбулентности методом обратного рассеяния излучения гиротрона на флуктуациях плотности плазмы.

ЭЦ нагрев осуществлялся с помощью двух гиротронов с близкими значениями частот излучения (75 ГГц и 74,8 ГГц). Измерения обратного рассеяния выполнялись для одного из гиротронов. Второй гиротрон включался с задержкой 4 мсек относительно первого, совместное включение гиротронов продолжалось 4 мсек, затем следовало выключение одного из них. Далее через 4 мсек выключался и второй гиротрон. Мощность каждого гиротрона составляла 0,15—0,25 МВт (суммарная удельная мощность ЭЦ нагрева 1,2—2 МВт/м3). При центральном ЭЦ нагреве плотность плазмы после включения первого гиротрона нарастала за 1 мсек до 1,5÷1,6∙1013 см-3 , далее падала за 5 мсек до1,3÷1,4∙1013 см-3 и вновь нарастала до конца ЭЦ нагрева (12 мсек) до1,8÷2,0∙1013 см-3. Температура электронов в центральной области после включения второго гиротрона удваивалась за 2 мсек, а после его выключения плавно спадала к концу ЭЦ нагрева. Плотность энергии турбулентных полей, отнесенная к плотности тепловой энергии электронов, /*nTe* после включения второго импульса ЭЦ нагрева растет в течение 2 мс, а затем падает после отключения второго импульса по мере падения температуры электронов и роста плотности плазмы. Эволюция плотности энергии турбулентности во времени представляет собой всплески продолжительностью 0,1—0,3 мс.

При нецентральном ЭЦ нагреве мощность каждого гиротрона составляла 0,4 МВт и перед выполнением экспериментов проводилась боронизация вакуумной камеры. Это обеспечило падение плотности плазмы от 2,2∙1013 см-3 до 1,2÷1,6∙1013 см-3 к концу ЭЦ нагрева. Температура электронов в центральной области плазмы увеличивалась после включения мощности второго гиротрона в 2—3 раза, а затем после его выключения спадала до уровня, превышающего уровень на момент включения второго гиротрона. Плотность энергии турбулентных полей /*nTe* после включения второго гиротрона возрастала по мере роста температуры электронов и падения плотности плазмы. При выключении мощности второго гиротрона наблюдалась медленная релаксация плотности энергии турбулентных полей.

Таким образом, причиной изменения аномального переноса при включении/выключении ЭЦ нагрева может являться изменение уровня коротковолновой турбулентности.

Работа выполнена при финансовой поддержке российского фонда РОФСОН.

Литература

1. TFR Group.- Nucl. Fusion, 1985, V25, p.1011
2. Ercmann V., Gasparino V., - Pl. Phys. Control. Fusion, 1994, V36. p.1869
3. Renner H. et al. - Pl. Phys. Control. Fusion, 1989, V31. p.1539
4. Stroth U. et al. – Phys.Rev.Lett., 1999, V82, p.928
5. Andreev V.F. et al. - Pl. Phys. Control. Fusion, 2004, V46. p.319