Результаты моделирования плазмы в токамаке с большим аспектным отношением и сильным торидальным полем

В.Г. Мережкин

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Россия, vitm@mail.ru

Достаточно слабая зависимость времени удержания энергии плазмы в токамаке, E ∝ a1/2, от малого радиуса плазменного шнура а, где E ∝ 〈neTe + niTi〉a2R/Poh, Poh равно произведению тока Jp на разрядное напряжение Vo, впервые была обнаружена в 1977 г. в экспериментах на установке Т-11 при уменьшении радиуса *а* рельсовой диафрагмой и постоянных Bt, запасе устойчивости qa и средней плотности электронов‾ne. Такой же результат был получен на ус-тановке Т-10 в экспериментах 84 г. в режимах с низкой плотностью плазмы ~ 1,5⋅1013 см–3. Слабая зависимость времени удержания энергии от малого радиуса плазмы *а* была обнаружена также в омических режимах на установках Alcator-C, DIII-D, TFTR и JET.

Измеренные профили электронной температуры и плотности плазмы на Т-11 при радиу-сах a = aL= 20 см и 12.5 см в режимах низкой теплопередачей между электронами и ионами позволяли с хорошей точностью определить эффективные коэффициенты температуропро-водности электронов χeeff (r). В работе [1] приводились законы подобия для коэффициентов χeeff  и времени удержания энергии в электронах Ee как функций локальных (ne, Te, q, ε = r/R) и интегральных (qa, R, 〈Te〉,‾ne) параметров плазмы в Т-11. Численные значения в этих скейл-лингах уточнялись позднее на зависимость χe от массы иона (χe ∝ 1/Ai1/2)и на конвективные потери энергии в электронах и ионах 5/2 Te,i Γe,i. Величина Γe (r) определялась по измерен-ным профилям ne(r), Te(r) и численного расчета ионизационного потока до радиуса r.

Полученные зависимости для коэффициентов χean, Dan ≈χean/2 и χi = χiNeo на Т-11 с хорошей точностью, до 10 – 15%, воспроизводили во время — зависимом 1½ D транспортном коде АТ измеренные средние и локальные параметры плазмы на установках Т-10, TFTR и FTU. В 1995 г. в этом коде были рассчитаны параметры плазмы в DT разряде JET (импульс #42976), в котором мощность нейтронного выхода достигла 16 МВт при ионной температуре Ti (0) ≈ 30 кэВ и времени удержания энергии E ≈ 0,9 c. Такие же данные были получены в коде АТ при полной мощности нагрева плазмы в JET ~ 25 МВт (NB + ICH) [2]. Приводимые в докладе результаты расчетов c коэффициентами переноса Т-11 показывают, что в токамаке с боль-шим аспектным отношением и объемом плазмы 2,5 м3 можно получить электронные пара-метры плазмы близкие к реакторным (Teо ~ 30 кэВ и‾ne ~1014 см–3) уже при мощности ЭЦР нагрева 2 МВт в режиме с полем Bt ~ 8 Тл.

Расчеты проводились для плазменного витка с малым радиусом 25 см и большим — 200 см. В предельном режиме ток в плазме 0,5 МА, qa = 2,5,‾ne ≤ 2⋅1014 см–3. Расчетная величина E в омическом режиме равна 370 мс при‾ne =2⋅1014 см-3 и Zeff = 1.2. В режиме с ЭЦР нагревом2 МВт E = 220 мс при‾ne =1⋅1014 см–3. В установке с аспектом R/a = 8 величина E вчетверо выше, чем измеренное значение E ≈ 55 мс на установке Т-10 при средней плотности элект-ронов 0,65⋅1014 см–3 в режиме с ЭЦР нагревом мощностью 0,8 МВт (импульс #42394). Как видно из рисунка, разница по временам удержания энергии в этих установках согласуется со скейлингом E ∝‾ne qa R3.

Литература

1. Leonov V.M., et al, in Plasma Phys. and Controlled Nuclear Fusion Research 1980 (Proc. 8th Int. Conf. Brussels, 1980) Vol. 1, IAEA, (1981) 393.
2. Мережкин. В.Г. Препринт ИАЭ-6145/6. Mосква, 1999.