МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМЫ В ОМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ JET ПО ТРАНСПОРТНЫМ КОЭФФИЦИЕНТАМ Т-11

Мережкин В.Г.

ИФП, НИЦ Курчатовский институт, Москва 123182, РФ, vitm@mail.ru

Установка JET (R=3 м, a=1-1.2 м, k ≤ 1.7, Bmax = 4 Тл) превосходит по объему плазмы TFTR и JT-60U, но уступает им по напряженности тороидального поля (Bmax = 5.5 Тл в TFTR). По скейлингам Т-11 и Нео-алкаторному в режимах с омическим нагревом времена удержания энергии в токамаке при частоте столкновений e\* ≤ 1 должны расти линейно с повышением плотности электронов‾ne и запаса устойчивости qa. При этом абсолютные значения E должны повышаться с увеличением размера плазмы в установке, как R3 (в режимах с отношением a/R ≈ const).

Как известно, в 1996 г. в реальном Д-Т эксперименте на установке JET в переходном режиме при нарастании плотности 〈ne〉 до 5 1013см-3 была достигнута величина Q (отноше-ние мощности нейтронного выхода Pn к мощности потерь заряженных частиц Ploss = Pheat - dW/dt) масштаба 1 при мощности потока нейтронов Pn = 16 МВт. Время удержания тепло-вой части энергии плазмы E,th = Wth/Ploss было равно 0.9 c в импульсе 42976.

Представляло интерес выяснить - какие типичные значения E реализовались в омических режимах JET и при каких величинах‾ne, qa, Te0 и Ti0 и насколько экспериментальные E отличаются от рассчитанных значений по транспортным коэффициентам Т-11: ean, De=ean/2 и i =ineo [1]. Расчеты по этим коэффициентам проводились в транспортном коде AT, где учитываются дополнительные потери энергии с диффузией частиц 5/2 Te,i e,i,а также радиационные потери от примесей легких элементов (С, О), рассчитываемых с учетом перезарядки ионов легкой примеси на атомах водорода.

Экспериментальные данные по омическим режимам в JET были опубликованы в [2]. В этой работе на 25 рисунках приводились результаты измерений интегральных и локальных параметров плазмы, полученные при изменении напряженности поля BT = 1.7 и 3.4 Тл, тока в плазме от 1 до 4 МА и средней плотности плазмы в диапазоне (1.8-3.5) 1013 см-3. Все эти данные были получены на установке JET в процессе отладки ее подсистем и их выводе на параметры близкие к проектным.

В наиболее интересных режимах с токами 3 и 4 МА, полученных при поле BT = 3.4 Тл, эффективный заряд ионов Zeff  оказался достаточно высоким, масштаба 3.5-4 при токе 4 МА и ~ 2.5 в режиме с током 3 МА, даже при максимальной плотности электронов 3.5 1013 см-3 в этих двух режимах. С понижением плотности до 1.8⋅1013 см-3 величина Zeff  практически удваивалась и в режиме с током 4 МА повышалась до 7-8. Несмотря на столь высокие Zeff, заметный рост времени удержания энергии с повышением плотности в этих двух режимах наблюдался только при изменении средней плотности в интервале (1.8-2.7) 1013 см-3. В режиме с током 4 МА повышение времени удержания энергии с ростом плотности останавливалось в интервале‾ne = (3-3.5) 1013 см-3 и здесь измеренные значения E ≈ 0.62 с при‾ne = 3.51013 см-3 расходятся на 15 % с рассчитанным значением E = 0.55 с при Zeff = 3.5. При более низкой плотности 2.7⋅1013 см-3 и Zeff = 5 расхождение с измеренным значением E при токе 4 МА достигает ~ 35 %.

Можно предположить, что расчетные данные по E в коде АТ, где учитывается только одна примесь в плазме (О), не соответствует значениям Zeff , рассчитанным в [2] по вкладу в проводимость 2-х примесей – легкой и тяжелой (O и Ni). Снижение Zeff вдвое по отношению к данным [2], заметно сближает расчетные данные E с экспериментом при‾ne ≤ 3⋅1013 см-3.

Литература

1. В.Г. Мережкин, В.С. Муховатов, А.Р. Полевой, ФП, 1988, том **14**, вып. 2, с. 63.
2. D.V. Barlett, et al., NF, 1988, Vol. **28**, No. 1, p. 73.