Моделирование поведения быстрых частиц в токамаке глобус-М

Н.Н. Бахарев, \*П.Р. Гончаров, В.К. Гусев, \*Г. В. Задвитский, А.Д. Ибляминова, В.А. Корнев, Г.С. Курскиев, А.Д. Мельник, В.Б. Минаев, М.И. Миронов, М.И. Патров, Ю.В. Петров, Н.В. Сахаров, С.Ю. Толстяков, Ф.В. Чернышев, П.Б. Щеголев

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия, [bakharev@mail.ioffe.ru](mailto:bakharev@mail.ioffe.ru)  
\*Государственный Политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия

Возможность моделирования взаимодействия быстрых ионов с плазмой сферического токамака (СТ) является необходимым условием для проектирования компактных источников нейтронов и двухкомпонентных реакторов будущего. Однако, многие коды, традиционно применяемые на классических токамаках, не могут быть использованы на СТ, поскольку не учитывают их особенности, влияющие на траектории частиц – низкое значение магнитного поля и его высокий градиент. Современные коды нуждаются в экспериментальной верификации, а также взаимной проверке полученных результатов, поскольку число СТ с дополнительным нагревом невелико. В докладе представлены результаты численного моделирования потерь быстрых частиц в токамаке Глобус-М~~.~~

Для дополнительного нагрева плазмы в компактном сферическом токамаке Глобус-М применяется инжекция пучков нейтрального водорода и дейтерия с энергиями 18-30 кэВ. Моделирование взаимодействия инжектируемых частиц с плазмой выполнялось с помощью двух кодов. Первый – NUBEAM [1], использующий статистический метод Монте-Карло, второй – расчет трехмерной траектории частиц [2], объединенный с решением кинетического уравнения Больцмана со столкновительным членом Ландау с учетом диффузии в пространстве скоростей и замедления частиц [3]. В кодах применяются разные подходы, в связи с чем, возможна перекрестная и экспериментальная проверка. Для моделирования спектров атомов перезарядки, регистрируемых анализаторами типа АКОРД, используется код, учитывающий геометрию эксперимента.

Значения потерь быстрых частиц, рассчитанные с помощью различных кодов, находятся в хорошем соответствии как друг с другом, так и с результатами экспериментов. Моделирование подтверждает экспериментальные зависимости эффективности дополнительного нагрева от различных параметров (энергии и массы инжектируемых частиц, смещения плазменного шнура, величины магнитного поля и тока плазмы).

В токамаке Глобус-М2 тороидальное магнитное поле и ток плазмы будут увеличены до 1Т и 500 кА соответственно, что приведет к значительному улучшению удержания быстрых частиц. Моделирование предсказывает уменьшение прямых потерь более чем в 10 раз по сравнению с токамаком Глобус-М. Потери из-за пилообразных колебаний и потери на перезарядку также будут уменьшены. Поскольку в токамаке Глобус-М2 доступны режимы с более высокой плотностью, чем в Глобус-М, желательно повысить энергию инжекции. Расчеты показали, что даже в случае инжекции дейтерия с энергией 60 кэВ прямые потери не будут превышать 20%, что вполне допустимо для исследовательской установки.

Работа выполнена на УНУ «Глобус-М» (уникальный идентификатор проекта RFMEFI61914X0001) при финансовой поддержке РФФИ (14-02-31152 мол\_а).

Литература

1. A. Pankin et al., “The tokamak Monte Carlo fast ion module NUBEAM in the National Transport Code Collaboration library”, Comp. Phys. Comm. 159 (2004) 157.
2. F. V. Chernyshev et al., “Study of fast-ion losses in experiments on neutral beam injection on the Globus-M spherical tokamak”, Plasma Phys. Rep. 37 (2011) 553.
3. P.R. Goncharov et al., “Analytical and semianalytical solutions to the kinetic equation with Coulomb collision term and a monoenergetic source function”, Phys. Plasmas 17 (2010) 112313.