Оптимальные параметры нейтральной инжекции для генерации тока в плазме термоядерных источников нейтронов [[1]](#footnote-1)\*)

Длугач Е.Д., Кутеев Б.В.

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, [edlougach@gmail.com](mailto:edlougach@gmail.com)

Инжекция нейтральных пучков обеспечивает максимальную эффективность генерации тока среди всех систем нагрева и поддержания тока. Для стационарной работы термоядерных источников нейтронов (ТИН) генерация безындукционного тока и возможность управления профилями тока и нейтронным выходом с помощью пучков атомов высокой энергии представляет особый интерес. Синтез на пучке является основным источником нейтронов в плазме ТИН, поскольку реакции на высокоэнергетических «хвостах» вносят наибольший вклад в скорость генерации нейтронов. Это предъявляет особые требования к функции распределения быстрых частиц, а именно к относительной доле горячих ионов в спектре.

Для достижения максимального эффекта от инжекции необходимо согласование параметров пучка (состав, энергия, прицеливание, наклон) с магнитной конфигурацией плазмы и кинетическими профилями. С учетом особенностей геометрии ТИН, как правило, более компактных по сравнению с классическими токамаками, параметры инжекции должны быть оптимизированы таким образом, чтобы обеспечить по всему сечению пучка эффективный захват быстрых ионов, а также высокую генерацию тока и максимальный нейтронный выход. Поиск оптимальных условий необходимо учитывает ограничения на уровень сквозных потерь атомов, чтобы гарантировать умеренный уровень нагрузок на первую стенку.

Размер и форма пучка в сочетании с тороидальными эффектами оказывают существенное влияние на распределение быстрых ионов в фазовом пространстве и на результирующие профили тока и генерации нейтронов синтеза. В наибольшей степени влияние геометрических факторов проявляется в системах с низким аспектным отношением (с высоким пробочным отношением) и при поперечных размерах пучка сопоставимых с сечением плазменного шнура. Внутренняя структура пучка и топология магнитных поверхностей используются для расчета объемного распределения ионизации, сквозных потерь атомов и начальных потерь ионов, это позволяет скорректировать результирующие профили генерации тока.

Код BTOR (*Beam in TORoids*), создан для моделирования инжекции в плазму компакных и сферических токамаков с учетом тороидальных эффектов. Он используется для расчета захвата пучка в плазме, его ионизации и термализации быстрых ионов вдоль магнитных силовых линий. Магнитная конфигурация плазмы и кинетические профили задаются аналитически, предполагается, что в стационарном режиме пучок не вносит возмущение в параметры плазменной мишени. Благодаря высокой статистике, проникновение пучка в плазму и распределение ионов в объеме и по скоростям моделируются с высокой точностью. Функции распределения быстрых ионов по энергии рассчитываются по классическим аналитическим формулам торможения ионов в плазме [2]. Показаны радиальные профили тока от пучка, проведены оценки скорости пучкового синтеза и общего выхода нейтронов. Анализ подтверждает исходное предположение о чувствительности тока и нейтронного выхода к пространственно-угловой структуре пучка, к параметрам прицеливания и к детальной геометрии магнитного поля плазмы.

Работа поддержана НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия.

Литература

1. Kuteev et al., Nucl. Fusion, vol.57, p. 076039, 2017
2. J.Wesson, *Tokamaks*, 4th Edition, Oxford: Oxford University Press, 2011

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/XLIX/Mu/en/BO-Dlugach_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)