Торможение нейтрального пучка и генерация тока с использованием модели BTR [[1]](#footnote-1)\*)

Длугач Е.Д., Кутеев Б.В.

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

Инжекция нейтральных пучков (NBI) обеспечивает максимальную эффективность генерации тока среди всех систем нагрева и поддержания тока (CD). Для достижения оптимальных режимов работы плазмы и максимального эффекта от инжекции пучков при заданной мощности необходимо согласовать энергию атомов и геометрию прицеливания (координаты тангенциальной точки и наклон оси пучка) с магнитной конфигурацией плазмы, а также с профилями ее температуры и плотности. На распределение выделения быстрых ионов в плазме сильно влияют размер и форма пучка (в пространстве и по углу), особенно если пучок не является тонким в сравнении с поперечным сечением плазмы. Размеры пучка и его внутренняя структура задают профили генерации тока, поскольку мгновенный ток быстрых ионов и результирующий ток от пучка зависят от объемного распределения точек ионизации в плазме и от направления скоростей ионов по отношению к магнитному полю.

Возможности управлять профилем тока в плазме пучками атомов, в частности при их внеосевой инжекции, интересны с точки зрения стационарной работы термоядерных источников нейтронов (ТИН). Быстрые атомы могут обеспечить нагрев плазмы, подпитку топливом, безындукционную генерацию тока и возможность управления профилем тока в плазме ТИН, как правило, более компактных по сравнению с классическими токамаками. Для генерации нейтронов наиболее привлекательны реакции синтеза при замедлении ионов в плазме. Термоядерный *синтез на пучке* будет основным источником нейтронов в токамаках 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.

Код BTR (*Beam Transmission with Re-ionization*), который много лет используется для проектирования и анализа нейтральных инжекторов [1], использован для расчета захвата инжектируемого пучка в плазме, его ионизации и термализации быстрых ионов. Магнитная конфигурация плазмы и кинетические профили задаются аналитически; предполагается, что инжектируемый пучок не вносит возмущение в плазменную мишень. Благодаря высокой статистике моделей BTR, проникновение пучка в плазму и распределение ионов в объеме и по скоростям моделируются с высокой точностью. С применением классических аналитических формул для замедления ионов в плазме [2] рассчитываются функции распределения быстрых ионов по энергии и сравниваются для различных параметров пучково-плазменной системы. Получены радиальные профили тока от пучка, сделаны оценки скорости пучкового синтеза и общего выхода нейтронов. Анализ объемного распределения ионизации пучка и эффективности генерации тока подтверждает исходное предположение о чувствительности тока к размерам и форме пучка и к геометрии прицеливания. При фиксированной энергии атомов общая эффективность генерации тока различается в широких пределах, влияя на оптимальное *окно параметров* системы. Другим важным результатом данного подхода является тот факт, что внеосевая инжекция в целом *менее эффективна* с точки зрения генерации тока, чем инжекция вдоль оси плазмы. Наконец, для внеосевой инжекции наблюдается более *сильная зависимость* результирующего тока от малых изменений входных параметров, чем для осевой.

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

Литература

1. E.D. Dlougach, BTR webpage (2010), URL: <https://sites.google.com/site/btrcode/>
2. J.Wesson, *Tokamaks*, 4th Edition, Oxford: Oxford University Press, 2011

1. \*) [DOI – тезисы на английском](../en/CC-Dlugach_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)