Использование кода BTR ПРИ проектировании инжекторов ИТЭР [[1]](#footnote-1)\*)

Длугач Е.Д., Панасенков А.А.

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

Код BTR (*Beam Transmission with Re-ionization*) [1] уже много лет используется в проектировании систем нейтральной инжекции (NBI). Работа над кодом началась в 1995 году, а в 2005 году состоялся его выпуск (Born-To-Run). Код создан на MS Visual C++ for Windows. Код BTR исходно является открытым и предназначен для публичного использования. Благодаря высокой производительности и интерактивности, он похож на симулятор инжектора и нередко применяется в учебных целях. Код является параллельным, наилучшая производительность наблюдается на многопроцессорных компьютерах. Но даже на скромных системах (Windows) он способен моделировать поведение 1010 частиц, и это занимает всего несколько часов (2-5). Все модели BTR – *легкие* и воспроизводимые, поддаются аналитической проверке. Поэтому код можно использовать также для верификации других кодов трассировки пучков [2]. Возможности и объем данных для моделирования (уровень детализации геометрии, статистика, шаги), объем выходных данных (карты нагрузки) и их разрешение (шаги сетки) - гибко адаптируются к любой задаче проектирования NBI. Сегодня BTR - это живой и развивающийся код, его пользователям доступна бесплатная поддержка автора. Информация об обновлениях BTR и руководства пользователя доступны онлайн [1].

*Пучок* в BTR стартует из отверстий на выходной сетке источника-ускорителя ионов; дальнейшие преобразования и транспортировка частиц воспроизводятся простыми моделями пошаговой трассировки частиц. Ионы источника отслеживаются в электромагнитных полях, учитывается их нейтрализация и ионизация на газовой или плазменной мишени. Вся трассировка *детерминирована* и не зависит от случайных величин. Пучок из источника представляет собой массив большого числа *бимлет* (*cone*-beams); индивидуальное положение бимлет, фокусировка и внутреннее угловое распределение задаются независимо или списком. Модель пучка в BTR отличает подробная *статистика*: типичный запуск состоит из 1280 бимлет источника, причем по 103-105  частиц (первичных) в каждой бимлете.

Ввод геометрии инжектора в BTR позволяет гибко комбинировать стандартные компоненты и «свободные» поверхности, последние создаются вручную или с помощью инструментов САПР. Количество поверхностей может быть достаточно большим, можно отображать детали геометрии с точностью до нескольких миллиметров. Выходные данные включают карты распределения нагрузок, они могут быть построены в любом сечении пучка или на любой поверхности инжектора. Число и разрешение карт настраиваются интерактивно; типичный вывод состоит из 100-200 карт с разрешением ~100x100 каждая.

Спектр *применения* BTR достаточно широк и включает анализ потерь мощности пучка, эффективность его транспортировки, исследование влияния магнитного поля, динамики состава пучка, отслеживание отдельных компонент, построение отпечатков и карт нагрузки, *обработка изображений* и др. В докладе показаны примеры применения BTR в процессе проектирования нагревных и диагностических инжекторов нейтральных пучков ИТЭР [3,4]. Включены также результаты, полученные недавно центральной командой ИТЭР с использованием новой версии кода (BTR-5, *Multi-Run*), которая предназначена для многопараметрического анализа и проведения массивных расчетов.

Литература

1. E.D. Dlougach, BTR webpage (2010), URL: <https://sites.google.com/site/btrcode/>
2. E. Sartori et al, AIP Conference Proceedings, v.1655, 2015, p.050006
3. M.J. Singh et al, AIP Conference Proceedings, v.1515, 2013, p. 498
4. M.J. Singh et al, AIP Conference Proceedings, 1655(1), 2015, p.050011

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