

## РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ СИСТЕМ НЕЙТРАЛЬНОЙ ИНЖЕКЦИИ В ТЕРМОЯДЕРНЫХ УСТАНОВКАХ (BTR CODE) <sup>\*)</sup>

Длугач Е.Д.

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

Код BTR (*Beam Transmission with Re-ionization*) [1-2] используется в проектировании систем нейтральной инжекции (СНИ, NBI). Первая версия BTR выпущена в 2003, основной инструмент разработки MS Visual C++ for Windows. Код BTR исходно является открытым и предназначен для свободного распространения. Благодаря простоте использования и интерактивности, он подобен симулятору СНИ и нередко применяется для обучения специалистов.

Начиная с версии BTR-2 (multi-thread), расчеты на BTR особенно эффективны на многопроцессорных ПК. Статистика и детализация модели пучка в BTR все еще не имеют равных среди всех известных программных инструментов, предназначенных для СНИ, поэтому код набирает популярность среди пользователей и свободно распространяется ими, хотя изначально BTR использовался преимущественно в ИТЭР [3] – для проектов нагревных и диагностического инжекторов. Одно из важнейших преимуществ – BTR работает даже на старых медленных ПК (под Windows); он способен эффективно моделировать поведение  $10^{10}$  частиц, и это занимает от нескольких секунд до 1-2 часов. Все модели BTR – детерминированные («легкие»), аналитически проверяются и воспроизводятся. Поэтому код традиционно применяется не только для расчетов, но и для проверки и верификации других инжекционных кодов. Емкость и параметры расчетных моделей, уровень детализации и способы ввода конфигурации (вручную или импорт из САПР), разрешение карт тепловой нагрузки – все это легко адаптируется к выбранной пользователем задаче исследования. Код BTR по-прежнему развивается, пользователям доступна бесплатная поддержка. Информация об обновлениях BTR и руководства пользователя доступны онлайн [1].

Спектр задач, решаемых с применением BTR, достаточно широк и включает анализ потерь мощности пучка, исследование его формирования и транспортировки вдоль тракта инжекции, анализ поведения отдельных компонент и построение карт тепловых нагрузок для дальнейшего инженерно-физического анализа компонентов СНИ. В данной работе показаны результаты работы над BTR кодом в период с 2018 по 2022 (версия BTR-5), а также обновления, предложенные пользователями и запланированные к реализации в новой версии BTR-6 (2025).

### Литература

- [1]. E. Dlugach, BTR code for neutral beam design. <https://sites.google.com/view/btr-code/home>
- [2]. E. Dlugach, M. Kichik, Beam Transmission (BTR) Software for Efficient Neutral Beam Injector Design and Tokamak Operation. Software 2023, 2, 476-503  
<https://doi.org/10.3390/software2040022>
- [3]. ITER Final Design Report; NB H&CD, DDD 5.3; IAEA: Vienna, Austria, 2001.

<sup>\*)</sup> [DOI – тезисы на английском](#)