

ВЕРИФИКАЦИЯ КОДА ВTR ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ НЕЙТРАЛЬНОЙ ИНЖЕКЦИИ В ТЕРМОЯДЕРНЫХ УСТАНОВКАХ ^{*)}

Кичик М.Г., Длугач Е.Д.

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, kichik.mg@phystech.edu

Код ВTR (Beam Transmission with Re-ionisation) [1-2] много лет активно используется для проектирования и инженерно-физического анализа систем нейтральной инжекции, в том числе, для проекта ITER [3]. В 2008 по заказу ITER была проведена верификация первой версии ВTR [4], которая показала высокое качество кода и согласованность результатов его работы с расчётами кода ION для системы инжекции токамака JET. За прошедшие годы ВTR код активно развивался с учетом пожеланий пользователей, появлялись новые версии, включая ВTR-5 (в 2020). В каждой новой версии расширялась функциональность ВTR, причем значительно менялся исходный код всего проекта. С учетом обновлений и потребностей дальнейшего использования ПО ВTR, необходима верификация, которая не только проверяет надежность отдельных расчетных процедур, но и служит руководством к корректному применению кода к различным задачам оптимизации и анализа процессов в трактах инжекции нейтральных пучков.

В данной работе представлен набор тестов, которые делятся на две группы: проверка корректной работы ВTR и исследование чувствительности моделей к входным данным. Эти тесты применимы не только к ВTR-5 и более ранним версиям: предполагается, что будущие версии ВTR тоже должны проходить полную верификацию с ручным или автоматическим использованием разработанных тестов. В первую группу тестов входит проверка физических моделей и условий: уравнения движения частиц в электромагнитных полях; фазовое распределение пучка, полученного из источника-ускорителя ионов; нейтрализация на газовой мишени, потери на ре-ионизацию, ионизация в плазме токамака; сохранение частиц и баланс мощностей в системе. Во вторую группу тестов вошли параметрические скейлинги, демонстрирующие влияние отдельных входных параметров на результаты моделирования: исследование влияния магнитного поля на инжектированную мощность; параметров газовой мишени – на эффективность нейтрализации; ошибок фокусировки составляющих пучка бимлет – на полную эффективность транспортировки; параметров формы бимлет – на конечные профили тепловой нагрузки; уровня детализации геометрии инжектора – на эффективность расчета тепловых нагрузок и выходные показатели работы инжектора.

Приведено сравнение результатов работы ВTR с аналитическими решениями. Оно показывает, что при корректном использовании код ВTR служит надежным инструментом детального анализа и оптимизации систем инжекции; кроме того, ВTR код может применяться для исследования эффективности различных схем инжекции и захвата инжектированной мощности в плазме токамака.

Работа проведена при поддержке организации ITER.

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.
- [4]. Damian B. King, Review of the Beam Transport and Re-ionisation Code. 2008

^{*)} [DOI – тезисы на английском](#)