

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙТРОННОЙ НАГРУЗКИ НА КОНСТРУКЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТОКАМАКА В РАСЧЁТНОЙ СРЕДЕ OPENMC^{*)}

Афанасенко Е.С., Портнов Д.В., Кормилицын Т.М., Высоких Ю.Г., Кашук Ю.А.

ЧУ «ИТЭР-Центр», г. Москва, Россия, E.Afanasenko@iterrf.ru

Проектирование термоядерной установки с высоким нейтронным выходом должно быть основано на правильной нейтронно-физической модели. Моделирование переноса нейтронного и гамма-излучений в конструктивных элементах токамака позволяет получить распределения нейтронных и гамма-полей, вычислить мощность источников радиационного энерговыделения и проанализировать динамику активации конструкций. Эти аспекты имеют особое значение при проектировании сверхпроводниковых катушек, систем биологической защиты, систем охлаждения, а также для различных диагностик плазмы.

MCNP [1] является единственным кодом, используемым в ИТЭР [2] для моделирования переноса нейтронов и фотонов. Программный пакет OpenMC [3] может стать его полноценной альтернативой. В настоящее время необходимо верифицировать OpenMC для полноценного использования для проектирования реальных установок, но уже сейчас он может выступать дополнением для предварительных оценок, поиска потерянных частиц, расчета весов. В коде представлен широкий и удобный функционал для этих задач. Существенным преимуществом OpenMC является то, что он доступен в виде открытого исходного кода, что позволяет адаптировать код для конкретных задач. Проект поддерживается сообществом со всего мира. Темпы разработки кода высокие, благодаря опытной команде, продуманному процессу проектирования и применению современных технологий. Кроме того, открытость кода позволяет свободно применять его на любых, в том числе коммерческих проектах, без необходимости в получении одобрения со стороны регуляторов.

В данной работе рассматривается использование OpenMC для моделирования переноса нейтронов внутри моделей токамаков ИТЭР, TPT [4] и EAST: трансляция моделей из MCNP в OpenMC; некоторые оценочные результаты работы OpenMC; сравнение результатов моделирования OpenMC и MCNP. Для выполнения части задач разработано уникальное программное обеспечение для создания нейтронного источника плазмы со сложной параметризацией, а сами 3D-модели оптимизированы для работы с OpenMC. В результате получен прирост в производительности расчётных задач в 2-3 раза по сравнению с временем расчёта, производимого ранее в MCNP для тех же моделей, а сама подготовка модели для расчёта и визуализация результатов происходит значительно проще и эффективнее, чем в MCNP, благодаря использованию знакомых многим языков программирования Python и C++.

Работа выполнена в рамках государственного контракта между Частным учреждением «ИТЭР-Центр» и Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» № Н.4а.241.19.24.1024 от 20 марта 2024 «Разработка, опытное изготовление, испытание и подготовка к поставке специального оборудования в обеспечение выполнения российских обязательств по проекту ИТЭР в 2024 году».

Литература

- [1]. J.E. Sweezy, et al., MCNP User Manual, Version 5, Vol. 1.
https://mcnp.lanl.gov/pdf_files/TechReport_2003_LANL_LA-UR-03-1987Revised212008_SweezyBoothEtAl.pdf. Cited October 16, 2024.
- [2]. R. Aymar, IEEE Trans. Plasma Sci. **25**, 1187 (1998). doi 10.1109/27.650895
- [3]. P.K. Romano, et al., Ann. Nucl. Energy, **82**, 90 (2015)
- [4]. А.В. Красильников, и др. // Физика плазмы, Т. 47, № 11, 970 (2021).

^{*)} DOI – тезисы на английском