

А.А. ПШЕНОВ^{1,2}, А.С. КУКУШКИН^{1,2}

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²НИИЦ «Курчатовский институт», Москва

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТА ЛИТИЯ И ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ПЕРИФЕРИЙНОЙ ПЛАЗМЫ ТОКАМАКА T-15 ПРИ ИНЖЕКЦИИ ЛИТИЯ

Использование литиевого лимитера на основе капиллярно-пористой системы (эксперименты с такими лимитерами проводились на токамаках T-11M, NSTX, CDX-U и FTU [1]) способствует снижению рециклинга, а так же очищению плазмы от примесей, приходящих в разряд вследствие эрозии первой стенки (например, углерода или вольфрама), сам же литий практически не проникает в центральную область пламенного шнура, обеспечивая тем самым снижение эффективного заряда плазмы, а следовательно и снижение радиационных потерь из области удержания. При этом существует ряд указаний на то, что некорональное излучение может позволить литию претендовать на важную роль в энергобалансе пристеночной плазмы в моменты пиковых нагрузок таких как ЭЛМы и срывы тока [2]. Указанные обстоятельства делают потенциально привлекательным размещение подвижного литиевого лимитера в скрэп-слое токамака T-15.

Несмотря на множественные экспериментальные подтверждения положительного влияния инжекции лития и литиизации поверхности первой стенки токамаков, существует сравнительно небольшое количество работ посвященных теоретическому рассмотрению и компьютерному моделированию пристеночной плазмы с примесью лития. В то же время, исследование транспорта лития на периферии токамака и определение мест его преимущественного осаждения, наиболее выгодных с точки зрения расположения коллектора лития, является важным вопросом для рутинной работы токамака с литиевым лимитером или инжекцией литиевых пеллет. Другим немаловажным вопросом для токамаков с диверторной конфигурацией является эффективность литиевой примеси как основного излучателя в процессе стационарной работы установки, способность лития переизлучать тепло, приходящее на периферию из центральной области шнура, и тем самым снижать тепловые нагрузки на диверторные пластины.

Для изучения транспорта лития на периферии токамака как нельзя лучше подходит код SOLPS4.3 [3], являющийся признанным инструментом исследования транспортных процессов на периферии токамака, подтверждением чего может служить тот факт, что конструкция дивертора ИТЭР во многом опирается на результаты численных расчетов, проведен-

ных с его помощью. Для решения поставленной задачи код был адаптирован к геометрии и магнитной конфигурации токамака T-15. В качестве базового варианта диверторной геометрии был выбран гибридный вариант с вертикальным расположением принимающей платиной во внутреннем диверторе и горизонтальным во внешнем. При моделировании литиевый лимитер был заменен тороидально симметричным источником шириной 1 см, расположенным в верхнем или нижнем патрубках газонапуска. Амплитуда такого источника соответствовала скорости испарения лития при температурах 400, 500 и 600 °С. Уменьшение рециклинга, обусловленное литиизацией первой стенки, моделировалось аналогично работе [4] путем снижения коэффициента рециклинга на обращенных к плазме поверхностях с 1.0 до 0.93. Изучения транспортных процессов с участием лития потребовало добавления в код атомарных процессов с участием ионов и нейтралов лития: ионизации электронным ударом, рекомбинации (учитываются фото-, трехчастичная и диэлектронная рекомбинация), а также излучательных процессов (линейчатое, тормозное и рекомбинационное). Сечения для данных процессов взяты из базы данных ADAS [5] и учитывают ступенчатые процессы, играющие важную роль в плотной диверторной плазме.

С помощью модернизированного кода SOLPS4.3 проведен анализ путей миграции ионов лития при расположении литиевого лимитера в верхней части камеры и вблизи дивертора, со стороны патрубка откачки. Кроме того, проанализирован вариант с распылением осажденного на первой стенке и диверторных пластинах лития, что приводит к существенному росту концентрации лития в скрэп-слое и диверторной области.

Список литературы:

- [1] S. Mirnov, J. Nucl. Mater. 390–391 (2009) 876–885.
- [2] V.A. Evtikhin, I.E. Lyublinski, A. V. Vertkov, S. V. Mirnov, V.B. Lazarev, N.P. Petrova, S.M. Sotnikov, A.P. Chernobai, B.I. Khripunov, V.B. Petrov, D.Y. Prokhorov, V.M. Korjavin, Plasma Phys. Control. Fusion 44 (2002) 955–977.
- [3] A.S. Kukushkin, H.D. Pacher, V. Kotov, G.W. Pacher, D. Reiter, Fusion Eng. Des. 86 (2011) 2865–2873.
- [4] C. Sang, H. Du, G. Zuo, X. Bonnin, J. Sun, L. Wang, Nucl Fusion 56 (2016) 106018.
- [5] Open ADAS (<http://open.adas.ac.uk/adf11>)