ЧИсленное МОделирование движения расплавленного металлического слоя при воздействии интенсивных плазменных потоков [[1]](#footnote-1)\*)

1,2Алябьев И.А., 1,2Цыбенко Ю.В., 1,2Бирюлин Е.З., 1,2Позняк И.М., 1,2Новоселова З.И., 1,2Федулаев Е.Д., 3Путрик А.Б.

1МФТИ (НИУ), г. Долгопрудный, Россия, [aliabev.ia@phystech.edu](mailto:liner@triniti.ru) 2ГНЦ РФ ТРИНИТИ, г. Москва, округ Троицк Россия,  
3ЧУ ГК Росатом «Проектный центр ИТЭР», г. Москва, Россия

Защитные покрытия дивертора и первой стенки ИТЭР будут подвергаться интенсивному плазменно-тепловому воздействию в процессе работы реактора. Экстремальное воздействие на облицовочные материалы будет достигаться во время переходных процессов – срывов шнура и периферийных локальных неустойчивостей (ELM). Фактор теплового воздействия при ELM-событиях составит 15–300 МДж/м2с0.5, а при срывах – 90–2000 МДж/м2с0.5. При этом пороги плавления материалов дивертора и первой стенки – вольфрама и бериллия – составляют 50 МДж/м2с0.5 и 28 МДж/м2с0.5 [1]. Эрозия облицовочных покрытий за счёт перемещения расплава повлияет на ресурс реактора и требует изучения. В проведённых ранее на установке КСПУ-Т экспериментах показано, что разрушение покрытий будет происходить преимущественно за счет перемещения расплавленного поверхностного слоя [2]. Ввиду сложности этого явления нет полного понимания происходящих физических процессов, поэтому требуется развитие численных моделей и сравнение результатов расчета с экспериментом.

В данной работе представлена расчетная модель, описывающая поведение металла под действием мощного плазменного потока. Модель основана на системе сильно связанных уравнений теплопроводности и гидродинамики. Чтобы затормозить движение материала в твёрдой фазе, применен метод эквивалентной вязкости и введена демпфирующая сила. Свойства материала в модели являются температурно-зависимыми. Для описания теплоемкости в фазовых переходах применен подход эквивалентной энтальпии. В модели учтено испарение материала. Со стороны плазмы на материал действуют два внешних фактора: градиент давления и сила трения. При расчете движения расплава учитывается наличие внешнего магнитного поля.

С помощью данной модели получены значения скорости и перемещения расплава при различных значениях мощности плазменного воздействия. Рассмотрено влияние распределения давления и плотности мощности плазменного потока на итоговый профиль поверхности. Показано, что перемещение расплава нельзя объяснить только лишь наличием градиента давления плазмы по поверхности мишени, что подтверждает выводы работы [2]. Проведено моделирование движения расплава при наличии внешнего магнитного поля. Показано, что включение в модель дополнительной силы трения плазмы позволяет добиться лучшего совпадения результатов моделирования с результатами эксперимента. Результаты расчетов подтверждают образование кольцевой волновой структуры на поверхности мишени, что было обнаружено экспериментально [2]. Показано, что данная особенность связана с периодическим натеканием расплава на уже остывший участок поверхности.

Работа выполнена при финансовой поддержке и в рамках договора № 17706413348220000170/35-22/01 от 28 апреля 2022 года.

Литература

1. Pitts R.A., Carpentier S., Escourbiac F. et al. A full tungsten divertor for ITER: Physics issues and design status. // Journal of Nuclear Materials. – 2013. – V.438. – P.S48-S56.
2. Позняк И.М., Климов Н.С., Подковыров В.Л. и др.– ВАНТ, Сер. Термоядерный синтез, 2012, Т.35, №4, С.23-33.

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/E/en/IW-Alyab'ev_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)