Теоретическое моделирование пристеночной плазмы при импульсном моделировании тепловых нагрузок ИТЕР вольфрама электронным пучком BETA [[1]](#footnote-1)\*)

1,2Попов В.А., 1,2Касатов А.А.

1 1ИЯФ СО РАН, г. Новосибирск, Россия  
 2НГУ, г. Новосибирск, Россия

На существующих установках невозможно воспроизведение всех факторов воздействия потоков плазмы, излучения и нейтронов. Импульсные тепловые нагрузки являются одним из главных разрушающих стенку факторов на будущих термоядерных реакторах согласно современным представлениям, поэтому в ИЯФ был разработан стенд BETA для воспроизведения тепловых потоков на стенку. Имеется возможность импульсно нагревать образец с помощью электронного пучка и лазерного излучения, проводя in-situ диагностику разрушений образца. Было обнаружено, что при нагреве до высоких температур наблюдалось вращение расплава, которое не удавалось объяснить. В том числе ток пучка в ведущем магнитном поле создавал силу Лоренца, не способную разогнать расплав до наблюдаемых скоростей. Ранее [1] было показано, что на BETA удаётся достигнуть режима охлаждения испарением, когда несмотря на продолжающийся нагрев температура поверхности больше не растёт, поскольку унос тепла с поверхности испаряющимися атомами становится соизмерим с поступающим потоком энергии. Было показано, что в этом режиме скорость испарения прекращает расти и это увеличивает время развития парового экранирования.

В представленной работе анализируется, что может происходить в модели режима охлаждения испарением с пристеночным испаряющимся газом. Показывается, что даже без учёта дополнительного нагрева и ионизации газа электронным пучком насыщенные пары являются плазмой. Показывается, что плазму в режиме охлаждения испарением на установке BETA можно считать столкновительной, не замагниченной, не вырожденной, слабонеидеальной. Показывается, что создаются условия для формирования замкнутых токов, текущих вокруг неоднородности нагрева через пристеночную плазму и проводящий плотный вольфрам. Полный ток, получаемый интегрированием неоднородной плотности тока, в модели оказывается много больше тока пучка, которым создавалась неоднородность нагрева. Уточнение модели может привести к тому, что наблюдаемое вращение сможет быть объяснено замкнутым током на неоднородности нагрева до высоких температур, проникающим сквозь паровой слой потоком мощности.

Изучаемый эффект не предполагает особенностей нагрева именно электронным пучком и может быть воспроизведен лазерным излучением или потоком высокоэнергичных проникающих частиц. Для представленных результатов использовался расчёт с плотностью мощности нагрева 10 ГВт/м2, что соответствует нагрузке в неослабленных ЭЛМах, и для развития охлаждения испарением было необходимо испарить порядка 10 г/м2. Согласно современным представлениям [2] в режиме тушения плазмы на ИТЕР ожидаются потоки теплового излучения из плазмы на поверхность, достаточные для того, чтобы привести к оплавлению и нагреву до обсуждаемого режима.

Литература

1. V.A. Popov et. al., AIP Conf. Proc. 1771, 060009 (2016), <https://doi.org/10.1063/1.4964217>
2. M. Moscheni, et. al., Nucl. Mater. Energy 25, 100824 (2020), doi:10.1016/j.nme.2020.100824

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/Lt/en/EY-Popov_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)