

**Сведения о ходе выполнения проекта по соглашению №14.613.21.0009 от 26.08.2014 г.
(Руководитель проекта – кандидат физико-математических наук А.В. Спицын)**

1. В ходе выполнения проекта «Исследование поведения изотопов водорода в материалах термоядерных реакторов» по Соглашению о предоставлении субсидии №14.613.21.0009 от 26 августа 2014 года с Министерством образования и науки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе №5 в период с 1 июля по 31 декабря 2016 года выполнялись следующие работы:

1. Экспериментальное исследование проникновения дейтерия через бронзу Cu-Cr-Zr.
2. Обобщение и оценка результатов по измерению проникновения изотопов водорода через конструкционные материалы
3. Разработка рекомендаций по безопасному использованию аустенитных сталей (марки ЧС-68), бронзы Cu-Cr-Zr, вольфрама и его сплавов в контакте с дейтерием и тритием.
4. Разработка предложений по реализации результатов прикладных научных исследований и вовлечению их в хозяйственный оборот.
5. Разработка рекомендаций по минимизации накопления изотопов водорода в вольфраме и его сплавах.
6. Разработка рекомендаций по минимизации проникновения водорода через аустенитные стали (марки ЧС-68) и бронзу Cu-Cr-Zr при температурах, ожидаемых в термоядерных реакторах.
7. Разработка рекомендаций по учету влияния различных факторов термоядерных установок (воздействие импульсных тепловых потоков, образование точечных дефектов в структуре материала, образование гелия в структуре материала) на способность вольфрама и его сплавов накапливать изотопы водорода.
8. Разработана отчетная документация за 5 этап работ по соглашению в соответствии с требованиями нормативных актов Минобрнауки России.

Кроме того, иностранным партнером – центром водородных исследований университета города Тояма выполнены следующие работы:

9. Обобщение и оценка результатов исследований.

В результате сравнения констант проницаемости изотопов водорода сквозь исследованные в работе конструкционные материалы – аустенитные стали ЧС-68 и 12X18Н10Т и бронзу Cu-Cr-Zr показано, что бронза обладает на порядок меньшей проницаемостью, чем аустенитные стали при температурах меньших 400 °С и примерно в 2–4 меньшей проницаемостью для максимальной температуры при которой проводились исследования – 500 °С. Стоит отметить, что использование бронзы в термоядерной установке ИТЭР планируется в качестве промежуточного слоя между обращенным к плазме вольфрамом и аустенитной сталью SS316IG, которая будет охлаждаться теплоносителем. Таким образом, градиент температуры по слою из бронзы будет весьма значителен. Однако, в целом, температура бронзы в такой конструкции будет выше чем температура аустенитной стали.

Показано, что для минимизации накопления водорода в вольфраме необходимо: отказаться от использования материалов на основе углерода в качестве обращенных к плазме материалов термоядерных установок, что исключит накопление трития в составе углеводородных плёнок на внутренних поверхностях установки, в том числе на поверхности вольфрамовой защиты первой стенки термоядерного реактора; повысить рабочую температуру вольфрамовой облицовки, при этом учитывая, что вольфрам будет находиться в прямом контакте с другими материалами, менее тугоплавкими; периодически осуществлять кратковременный прогрев вольфрамовой облицовки до

температур 1200 – 1500 К, или до меньшей температуры, максимально допустимой с учётом способа организации вольфрамовой облицовки. Также дальнейшее снижение количества захваченного в вольфраме трития может быть достигнуто путём изотопного обмена, в результате контакта вольфрамовой поверхности с газообразным дейтерием.

Использованные в работе методы и установки оцениваются на уровне лучших мировых аналогов.

Все задачи этапа №5 работ выполнены в полном объеме и в соответствии с Планом-графиком исполнения обязательств и Техническим заданием Соглашения №14.613.21.0009 о предоставлении субсидий от 26.08.2014 и Дополнительными соглашениями № 1 от 3 декабря 2014 г., № 2 от 26 июня 2015 г. и № 3 от 21 декабря 2016 г.