

**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 №4 в период с 1 января по 30 июня 2016 года выполнялись следующие работы:

1. Проведение экспериментального исследования накопления дейтерия в образцах вольфрама, насыщенных радиоактивным гелием, методом термодесорбционной спектроскопии.
2. Сравнение и верификация экспериментальных данных по накоплению изотопов водорода в экспериментальных образцах вольфрама, поврежденных электронами высоких энергий, полученных российской и японской группами, методами термодесорбционной спектроскопии и методом рентгеновской люминесценции образцов, насыщенных тритием.
3. Разработана отчетная документация за 4 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:

4. Выполнено экспериментальное исследование механизмов удаления дейтерия/трития из поврежденных образцов вольфрама и сплава вольфрам-рений с использованием методов прогрева образцов и/или изотопного обмена.

На четвертом этапе были выполнены следующие работы:

- проведена выдержка образцов исследуемых материалов в течение 3 месяцев;
- проведена детритизация образцов различными методами до уровня 10^7 Бк в каждом образце;
- проведено исследование содержания и распределения трития в образцах с помощью методов радиолюминографии и радиометрии;
- проведено измерение содержания гелия в образцах после детритизации;
- методом электронной микроскопии показано отсутствие значимых изменений структуры образцов после насыщения тритием и детритизации;
- проведена подготовка образцов к исследованию накопления дейтерия в образцах вольфрама;
- проведено исследование накопления дейтерия в образцах вольфрама, насыщенных радиоактивным гелием методом термодесорбционной спектроскопии.

Также проведено сравнение и верификация экспериментальных данных по накоплению водорода в вольфраме. Ранее было показано, что при облучении вольфрама дейтериевой плазмой с энергией ионов ниже энергии, требуемой для генерации радиационных дефектов, происходит формирование блистеров и образование дефектов, которые могут захватывать и удерживать дейтерий. Для объяснения этих процессов был предложен механизм пластической деформации, возникающей вследствие перенасыщения приповерхностного слоя атомами дейтерия. В случае облучения вольфрама дейтериевой плазмой с примесью гелия в приповерхностном слое происходит формирование наноразмерных гелиевых пузырьков и развитие открытой пористости. При этом вероятность того, что внедренные атомы дейтерия могут достигнуть открытой поверхности, сформировать молекулы и выделиться обратно в вакуум в процессе ионной имплантации, значительно повышается. Это в свою очередь вызывает уменьшение потока диффундирующего в объем дейтерия и уменьшение концентрации дейтерия в

растворенном состоянии. Кроме того, гелиевые пузырьки в приповерхностном слое могут способствовать диссипации напряжений, создаваемых перенасыщением приповерхностного слоя атомами дейтерия. Все эти процессы приводят к уменьшению вероятности пластической деформации (т.е., уменьшению вероятности формирования деформационно-индуцированных дефектов), что приводит в свою очередь к значительному уменьшению концентрации дейтерия на глубинах в несколько микрометров.

Дефекты смещения, генерируемые в вольфраме облучением ионами W и электронами с энергиями от сотен кэВ до 20 МэВ, значительно увеличивают содержание дейтерия в зоне повреждения после облучения как D плазмой, так и смешанной He-D плазмой. При этом в случае облучения смешанной He-D плазмой при температурах свыше 450 К концентрация дейтерия в зоне повреждения ниже, чем в случае облучения чистой D плазмой. Уменьшение концентрации растворенного дейтерия в случае облучения радиационно-поврежденного вольфрама дейтериевой плазмой с добавкой ионов гелия вызывает уменьшение концентрации дейтерия, захваченного в радиационно-индуцированных дефектах.

Иностранным партнером (центром водородных исследований университета г. Тояма) проведены экспериментальные исследования накопления дейтерия/трития в поврежденных образцах вольфрама и сплава вольфрам-рений с использованием метода рентгеновской люминесценции образцов, насыщенных тритием.

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

Все задачи этапа №4 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.