

**Сведения о ходе выполнения проекта по соглашению №14.613.21.0084 от 22.11.2017 г.  
(Руководитель проекта – кандидат физико-математических наук А.В. Спицын)**

В ходе выполнения проекта «Накопление изотопов водорода в конструкционных материалах, вольфраме и его сплавах для применения в энергетике» по Соглашению о предоставлении субсидии №14.613.21.0084 от 22 ноября 2017 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 №1 в период с 22 ноября по 31 декабря 2017 года выполнены следующие работы:

- 1 Аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках научных исследований.
- 2 Проведение патентных исследований в соответствии ГОСТ Р 15.011-96.
- 3 Выбор и обоснование направления и объектов экспериментальных исследований, аппаратных средств, средств разработки программ, способов представления данных.
- 4 Выбор и обоснование способов изготовления экспериментальных образцов сплавов вольфрам-рений, вольфрам-молибден, вольфрам-ванадий, вольфрам-тантал, вольфрам-железо и вольфрам-хром.
- 5 Разработка метода повреждения экспериментальных образцов сплавов вольфрама ионами железа высоких энергий.
- 6 Разработка эскизной конструкторской документации на модуль для повреждения экспериментальных образцов сплавов вольфрама ионами железа высоких энергий.
- 7 Разработка программы и методики экспериментальных исследований.
- 8 Подписание Меморандума об установлении объемов работ и финансирования совместного проекта к Соглашению с иностранным партнером о научно-техническом сотрудничестве.

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

9. Разработан метод измерения захвата трития/дейтерия в экспериментальных образцах сплавов вольфрама, повреждённых ионами высоких энергий, с использованием метода рентгеновской люминесценции образцов, насыщенных тритием.

В ходе работы на первом этапе выполнен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках исследований. В результате обзора показано, что, несмотря на актуальность запланированных исследований, систематического исследования влияния концентрации легирующих примесей в сплавах вольфрама не проводилось, а проведенные исследования часто противоречат друг другу.

Проведены патентные исследования по направлению исследований. Результаты патентных исследований свидетельствуют о том, что патентов Российской Федерации, препятствующих проведению работ на дату окончания поиска, не обнаружено, и проведенные патентные исследования позволят в дальнейшей работе выявить направление и форму охраны созданных результатов научно-технической деятельности.

Проведен выбор и обоснование направления и объектов экспериментальных исследований, аппаратных средств, средств разработки программ, способов представления данных.

В качестве объектов исследования выбраны:

- сплавы поликристаллического вольфрама с рением, молибденом, танталом, ванадием, железом и хромом с процентным составом легирующих элементов от 1 до 5 процентов в связи с тем, что в настоящий момент во многих термоядерных установках вольфрам используется в качестве обращенного к плазме материала, принимающего на себя наибольшие нагрузки энергии и частиц, а перечисленные сплавы могут образовываться в термоядерных установках в результате трансмутации вольфрама под действием нейтронного облучения или в результате совместного распыления с другими конструктивными элементами под действием термоядерной плазмы;

- вольфрамовые покрытия на конструкционных материалах – низкоактивируемой ферритно-мартенситной стали и хром-циркониевой бронзы, полученные результате плазменного распыления в импульсных режимах, близких к режимам эксплуатации термоядерных установок.

Исходя из поставленных задач, было принято решение использовать следующее научно-техническое оборудование:

- сверхвысоковакуумный стенд АТЛАН (НИЦ «Курчатовский институт») будет использован для экспозиции образцов при давлениях до 0,5 бар и температуре от комнатной до 700 °С;
- для облучения ионами высоких энергий для моделирования нейтронных повреждений будет использован линейный ускоритель тяжелых ионов ТИПр-1 (НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ), обеспечивающий ускорение до энергии 101 кэВ/нуклон пучков ионов с широким диапазоном масс от  $C^+$  до  $U^{4+}$ , с током ускоренного пучка ионов в несколько миллиампер;
- накопление изотопов водорода будет исследовано путем термодесорбционных (ТДС) измерений на ТДС-стенде (НИЯУ МИФИ), позволяющем регистрировать ТДС-спектры до температуры 1200 К при различных скоростях нагрева образца;
- структурные исследования экспериментальных образцов сплавов вольфрама и покрытий покрытия будут исследованы с помощью сканирующего и просвечивающего электронных микроскопов.

Проведен выбор и обоснование способов изготовления экспериментальных образцов из сплавов вольфрама. Показано, что наиболее перспективным способом изготовления образцов является двойная переплавка сплава в электронно-лучевой вакуумной печи и последующая резка образцов электро-эрозионным способом и полировка.

Выполнена разработка метода повреждения экспериментальных образцов сплавов вольфрама ионами высоких энергий. Для повреждения планируется использовать ионы железа с энергией 5,6 МэВ и протоны с энергией до 20 МэВ.

Для осуществления облучения экспериментальных образцов сплавов вольфрама ионами высоких энергий на линейном ускорителе была разработана эскизная конструкторская документация на изготовление модуля для облучения одновременно 4-х образцов.

Планируемые к использованию методы и установки оцениваются на уровне лучших мировых аналогов. Комплексного исследования широкой номенклатуры сплавов вольфрама в рамках единого проекта ранее не проводилось. Линейный ускоритель тяжелых ионов ТИПр-1 с использованием ионов железа позволяет получать значеня смещений на атом в исследуемых образцах для проведения исследований накопления изотопов водорода в поврежденных образцах на уровне мировых аналогов.

Все задачи этапа №1 работ выполнены в полном объеме и в соответствии с Планом-графиком исполнения обязательств и Техническим заданием Соглашения №14.613.21.0084 о предоставлении субсидий от 22.11.2017 и Дополнительными соглашениями № 1 от 26 апреля 2018 г. и № 2 от 28 апреля 2018 г.