

Резюме проекта, выполняемого/выполненного

в рамках ФЦП

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу № 2

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.575.21.0049

Тема: «Исследование и разработка импульсных нейтронных генераторов для реализации технологий атомной энергетики, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом.»

Приоритетное направление: Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

Критическая технология: Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом

Период выполнения: 27.06.2014 - 31.12.2016

Плановое финансирование проекта: 33.667 млн. руб.

Бюджетные средства 25.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства 8.667 млн. руб.

Получатель: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"

Индустриальный партнер: Общество с ограниченной ответственностью "Технологические системы защитных покрытий"

Ключевые слова: нейтронный генератор, импульс, нейтронная трубка, мишень Д-Т реакция, ядерная технология, нейтронная радиография.

1. Цель проекта

Задачи исследований структурированы в проекте по следующим направлениям: выявление режимов работы ВНТ и ГНТ в составе ИНГ, реализующие максимальные рабочие характеристики, исследования новых конструкций узлов и элементов ВНТ и ГНТ в составе ИНГ с целью получения высокоэффективных нейтронных генераторов, исследование ИНГ, отличающихся новыми подходами к генерации нейтронных потоков, в том числе, работающих на новых принципах, исследование новых конфигураций твердых мишеней для генерации нейтронных потоков, отличающихся стабильностью и долговечностью работы.

Целью проекта является теоретическое и экспериментальное исследование физических процессов в ИНГ, поиск эффективных режимов работы, разработка их перспективных конструкций, в том числе на новых физических принципах для использования в технологиях атомной энергетики.

2. Основные результаты проекта

Разработана структура и состав экспериментального стенда, в котором заложены основы для исследования режимов работы диода для газонаполненных ИНГ на основе инерционного удержания ионов (в частности дейтронов). При этом предусмотрены ряд мер для преодоления имеющихся проблем эффективной ионизации газа, исключения пробоев между электродами и стенками газового объема, уменьшения влияния процессов перезарядки частиц, снижения доли молекулярных ионов.

Разработана эскизная документация на новые разработанные элементы стенда: диэлектрическая камера с электродами для исследования режимов работы газонаполненных ускорительных диодов с полым катодом и сильноточный высоковольтный генератор импульсных напряжений (ГИН).

Произведена отладка ГИН, получены следующие выходные параметры: напряжение 350- 450 кВ, ток 1 кА, длительность импульса 2 мкс.

Разработанный стенд позволит исследовать характеристики модернизированного газонаполненного ИНГ, достичь в нем выхода нейтронов в реакции D+D на уровне 10^7 нейтронов за импульс, получить высокий ресурс ГНТ (до полного сжигания дейтерия в ядерной реакции).

Произведена модернизация установки вакуумно-плазменного осаждения покрытий для напыления многослойных мишеней, произведена модернизация вакуумной камеры установки, в которой установлено дополнительно три мишени из различных материалов. Модернизирована система подачи потенциалов на мишени для обеспечения возможности распыления каждой из

мишеней в соответствии с программой эксперимента.

Для напыления барьерных и переходных слоев на мишени и подложки и сравнительного тестирования многокомпонентной мишени подготовлен Стенд осаждения покрытий и тестирования материалов. Подготовка Стенда включала модификацию Узла крепления мишеней, Масс-спектрометрический модуль, установку и тестирования Масс-спектрометрического модуля и разработку методики тестирования напыленных покрытий.

Тестирование происходит в автоматическом режиме. Меняя плотность плазмы, расстояние от образца до анода и вытягивающий потенциал можно обеспечить облучение электронами кольцевой или круглой области с характерным размером от 2 до 20 мм. Плотность мощности может варьироваться от 10 кВт/м² до 20 МВт/м².

Проведена модернизация Многофункционального исследовательского комплекса масс-спектрометрического анализа для сравнительного тестирования компонентов многослойной мишени нейтронной трубки. Для облучения образца мишени нейтронной трубки в плазме при пониженной температуре сконструирован охлаждаемый столик. Проведена модернизация и подготовка вторично-ионного масс-спектрометра МИ-1201Э к анализу многослойных мишеней, для него создан, установлен и протестирован ионный источник с блоками питания.

Разработана модель многослойной мишени ВНТ. Изучены процессы на поверхности титана и других гидридообразующих металлов под действием ионной бомбардировки. Выбран оптимальный состав поверхностного барьерного слоя для титановой мишени. Разработана методика нанесения барьерного слоя на поверхность титановой мишени. Проведены теоретические и экспериментальные исследования с целью поиска оптимального слоя аккумулятора и барьерного слоя между ним и титановым слоем мишени. Выбран оптимальный состав слоя аккумулятора. Разработана методика нанесения слоя аккумулятора и барьерного слоя между ним и титановым слоем мишени.

С использованием модели ВНТ с новыми исходными данными был проведен анализ различных режимов ее работы, среди которых выделен штатный режим, режим с одной полуволной синусоиды разрядного тока и т.н. укороченной синусоидой. Главной причиной не позволяющей получение максимальных нейтронных потоков в действующих ВНТ была выявлена рассогласованность длительности импульса дейтронного тока и ускоряющего импульса.

На основании этого анализа были созданы цепи реализующие желаемые режимы и обеспечивающие повышенные характеристики. Были проведены эксперименты с ВНТ в составе ИНГ с измерением нейтронных потоков. Эксперименты проводились на стендах ФГУП «ВНИИА», при этом регистрация выхода нейтронов осуществлялась с помощью сцинтилляционного детектора. (таблица 1).

Тип ВНТ	Емкость накопителя энергии, нФ	Штатный режим работы нейтронной трубки	Выход нейтронов, 10 ⁶ нейтр/имп		
			Контур с балластным сопротивлением		Контур с RD-цепью (R=1,6 Ом)
			R _Б =0,3 Ом	R _Б =0,8 Ом	
ВНТ 1	23	21	20	12	-
ВНТ 2	23	21	19	20	-
ВНТ 3	16	11	6	6	-
ВНТ 3	23	16	9	8	-
ВНТ 1	23	16	-	-	17
ВНТ 2	23	19	-	-	19

Были испытаны три типа ВНТ, условно обозначенные ВНТ 1, 2 и 3. Рассматривались три режима работы ВНТ: т.н. штатный режим (см. рис. 2), режим ВНТ с включением в контур балластным сопротивлением (см. рис. 3) и режим с включением в контур RD-цепи.

Нейтронный выход практически не уменьшается (а если и уменьшается, то весьма в малой степени) при включении в колебательный контур дополнительных сопротивлений, что же касается случаев с RD-цепью, то нейтронный выход может даже возрастать.

Все полученные результаты по 2 этапу выполнения НИР, приведенные в отчете, соответствуют требованиям к выполняемому проекту.

Результаты, полученные на 2 этапе выполнения НИР обладают новизной.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

На втором этапе охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), получены не были.

4. Назначение и область применения результатов проекта

Результаты ПИ будут использованы для проведения опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, направленных на создание импульсных нейтронных генераторов с повышенными рабочими характеристиками по ресурсу работы, величине рабочих температур, энергоэффективности, стабильности работы, нацеленных на применение в различных задачах и технологиях атомной энергетики, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. Учитывая планы госкорпорации Росатом, а также планы зарубежных производителей продукции атомной энергетики можно с уверенностью говорить о большой востребованности исследуемой в ПНИ аппаратуры, весьма масштабном и долгосрочном ее применении. Учитывая также большую потребность ИНГ практически с теми же параметрами в смежных областях атомной энергетики, таких как каротаж урановых скважин, досмотровых систем на предмет выявления ядерных материалов, нейтронной радиографии и томографии можно также утверждать о богатых возможностях коммерциализации продуктов разработки ПНИ. Результаты полученные при проведении работ за 2 этап, а так же прогнозируемые результаты выполнения работ на других этапах дают возможность утверждать о создании новых технологий в результате которых будет создана новая продукция в научно-производственных секторах.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Социально-экономический эффект проекта состоит в существенном расширении производства уникального технологического оборудования для нужд атомной энергетики – отрасли, использующей высокообразованные научные кадры, повышение производительности и качества труда.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

Результаты проекта обладают большой потенциальной возможностью их коммерциализации. В результате выполнения работ по проекту могут быть созданы новые образцы нейтронных генераторов, а так же значительно модернизированные образцы этих генераторов. Это позволит развернуть их серийное производство и осуществить выход на рынки связанные с продукцией для применения в технологиях атомной энергетики, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом.

7. Наличие соисполнителей

Проект выполняется в НИЯУ МИФИ силами его сотрудников.

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"

Проректор
(должность)

(подпись)

Петровский А.Н.
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель работ по проекту

Заведующий кафедрой
(должность)

(подпись)

Школьников Э.Я.
(фамилия, имя, отчество)

М.П.