

## Резюме проекта, выполняемого

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: 14.578.21.0102

Тема: «Разработка эффективного радиационно-стимулированного механо-электрического генератора »

Приоритетное направление: Индустрия наносистем (ИН)

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

Период выполнения: 19.08.2015 - 31.12.2016

Плановое финансирование проекта: 45.60 млн. руб.

Бюджетные средства 26.60 млн. руб.,

Внебюджетные средства 19.00 млн. руб.

Получатель: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС"

Индустриальный партнер: Общество с ограниченной ответственностью "ИнвестТехнологии"

Ключевые слова: Бета-распад, бета-вольтаика, радиоизотопный генератор, механо-электрический генератор, пьезоэлектрический эффект.

#### 1. Цель проекта

1) Применение импульсных источников питания позволяет преодолеть ограничения, вызванные малой мощностью бетавольтаических генераторов. Так в импульсном режиме Бетавольтаический генератор способен выдавать мощность вплоть до 1 мВт/см<sup>3</sup>. Импульсы большой мощности могут быть получены с использованием любого типа преобразователей путем использования накопительных элементов, таких как конденсаторы. Однако на практике конденсаторы обладают довольно большими токами утечки, что делает практически невозможным использование бетавольтаических генераторов мощностью меньше 1 мкВт для создания устройств, работающих в импульсном режиме. Подобная проблема может быть решена с использованием механо-электрического преобразователя, способного работать при низких удельных мощностях энергетического материала (0,1-1 мкВт/см<sup>2</sup> для <sup>63</sup>Ni), позволяя при этом обеспечивать непрерывную выходную мощность 10100 нВт/см<sup>3</sup>.

2) Целью проекта является разработка технологии создания механо-электрических преобразователей энергии бета-излучения в электрическую энергию на основе монокристаллов пьезоэлектриков с ориентированной доменной структурой для использования в составе автономных радиационно-стимулированных бета-вольтаических элементов питания переменного напряжения.

#### 2. Основные результаты проекта

На первом этапе выполнения ПНИ:

1.1 Проведен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках ПНИ. Исследованы возможные направления по созданию радиационно-стимулированных генераторов, ограничения и допуски по используемым материалам, в том числе энергетическим. Рассмотрены особенности конструкции радиационно-стимулированных генераторов и технологии их создания.

1.2 Проведены патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96.

1.3 Проведена сравнительная оценка возможных направлений исследований, выбраны и обоснованы оптимальные варианты решения задачи по созданию эффективного радиационно-стимулированного механо-электрического генератора с длительным сроком эксплуатации. Обоснован выбор материала пьезоэлектрического рабочего элемента и методы формирования заданной доменной структуры. Рассмотрены возможные негативные факторы, снижающие общую эффективность и пути снижения их влияния. Обоснованы методы текущего контроля и оценки выходных параметров.

- 1.4 Проведены теоретические исследования технологических аспектов создания механо-электрических преобразователей, разработана математическая модель функционирования. Произведен математический расчет процесса функционирования рабочего элемента. Представлены основные закономерности. Приведена теоретическая форма сигнала для дальнейшего использования при измерении выходных параметров механо-электрического генератора.
- 1.5 Проведены расчеты выходных параметров механо-электрического преобразователя энергии с использованием разработанной модели.
- 1.6 Разработан технологический процесс изготовления пьезоэлектрических элементов. Приведен пошаговый перечень технологических операций для создания монокристаллических пьезоэлектрических элементов.
- 1.7 Обоснована конструкция и разработана конструкторская документация для изготовления макетов пьезоэлектрических элементов.
- 1.8 Изготовлены макеты пьезоэлектрических элементов в количестве 10 штук.
- 1.9 Обоснована конструкция и разработана конструкторская документация для изготовления макетов опорных элементов.
- 1.10 Разработан технологический процесс изготовления опорных элементов.
- 1.11 Изготовлены макеты опорных элементов в количестве 10 штук.

На втором этапе выполнения ПНИ:

- 2.1 Разработана программа и методика исследовательских испытаний экспериментальных образцов механо-электрических преобразователей энергии.
- 2.2 Изготовлены экспериментальные образцы механо-электрических преобразователей энергии в количестве 10 штук.
- 2.3 Разработан метод закрепления пьезоэлектрических элементов на опорных элементах.
- 2.4 Разработана конструкторская документация для изготовления (сборки) экспериментальных образцов механо-электрических преобразователей энергии.

На первом этапе выполнения ПНИ:

- 1.1 Осуществлен выбор направления исследований для уточнения задач дальнейшего исследования. В аналитическом обзоре в том числе использованы 48 научно-информативных источников за период 2010-2015, что соответствует требованиям ТЗ п.3.1
- 1.2 Оформлены результаты в виде отчета о патентном исследовании.
- 1.3 Сформулированы задачи к проведению исследований, направленных на разработку технологии создания механоэлектрических генераторов, измерение выходных характеристик и проведение текущего контроля. Новизна состоит в применении монокристаллических пластин со сформированной бидоменной структурой в качестве пьезоэлектрических элементов, преобразующих энергию наведенных колебаний консоли в электрическую энергию, что позволяет повысить КПД в сравнении с традиционно применяемой в настоящее время пьезокерамикой.
- 1.4 Разработана теоретическая схема работы механо-электрического преобразователя. Приведена теоретическая форма сигнала для дальнейшего использования при измерении выходных параметров механо-электрического генератора. Новизна заключается в учете влияния геометрических параметров консоли на выходные параметры механо-электрического генератора. Математическая модель соответствует требованиям п.4.2.2.1 ТЗ.
- 1.5 Получены результаты расчета выходных параметров механо-электрического преобразователя энергии.
- 1.6 Приведен пошаговый перечень технологических операций для создания монокристаллических пьезоэлектрических элементов. Данный способ создания пьезоэлектрических элементов для механо-электрических генераторов применяется впервые. Разработанный технологический процесс соответствует требованиям п.4.2.2.2 ТЗ.
- 1.7 Обоснована конструкция и разработана конструкторская документация для изготовления макетов пьезоэлектрических элементов. Разработанная конструкция макетов опорных элементов соответствует п.п.4.2.2.4 и 4.2.2.5 ТЗ.
- 1.8 Изготовлены макеты пьезоэлектрических элементов на основе пластин монокристаллов ниобата лития со сформированной бидоменной структурой. Пластины монокристаллов со сформированной бидоменной структурой большой площади получены впервые, по данным литературы максимальная площадь ранее созданных бидоменных структур не превышает 1-2 см<sup>2</sup>. Параметры макетов пьезоэлектрических элементов соответствуют требованиям п.4.3.1.2 ТЗ.
- 1.9 Обоснована конструкция и разработана конструкторская документация для изготовления макетов опорных элементов.
- 1.10 Разработан технологический процесс изготовления опорных элементов.
- 1.11 Изготовлены макеты опорных элементов в количестве 10 штук. Макеты опорных элементов соответствуют требованиям п.4.3.1.1 ТЗ.

На втором этапе выполнения ПНИ:

- 2.1 Разработана программа и методика исследовательских испытаний экспериментальных образцов механо-электрических преобразователей энергии. Обоснованы методики измерений, приведены данные математического моделирования для оценки эффективности механо-электрического преобразователя и выполнения требований п. 4.2.1.3 ТЗ.
- 2.2 Изготовлены экспериментальные образцы механо-электрических преобразователей энергии в количестве 10 штук в соответствии с требованиями п. 4.3.1.3 ТЗ.
- 2.3 Разработан метод закрепления пьезоэлектрических элементов на опорных элементах. Разработанный метод закрепления пьезоэлектрических элементов на опорных элементах соответствует требованиям п. 4.2.2.6 ТЗ.
- 2.4 Разработана и обоснована конструкторская документация для изготовления (сборки) экспериментальных образцов механо-электрических преобразователей энергии в соответствии с требованиями п. 4.2.1.2 ТЗ.

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

Во время проведения ПНИ планируется подать 1 заявку на получение охранных документов. В рамках второго года проведения ПНИ запланирована подача патентной заявки. Заявка находится на стадии согласования с Отделом защиты интеллектуальной собственности НИТУ "МИСиС".

#### 4. Назначение и область применения результатов проекта

- 1) Разрабатываемая технология создания радиационно-стимулированных механо-электрических генераторов предназначена для использования в ядерной энергетике, авиакосмической технике, нано- и микроэлектронике (в том числе МЭМС/НЭМС, МОЭМС/НОЭМС), биомедицине, специальной технике (в том числе системах безопасности и контроля), в необслуживаемых источниках энергообеспечения с длительным сроком эксплуатации.
- 2) Разрабатываемая технология позволит создать источники питания длительного срока службы для сети автономного навигационного оборудования, систем телеметрии и сенсоров, позволяющих производить онлайн мониторинг широкого спектра параметров.
- 3) Разработка технологии радиационно-стимулированных механо-электрических генераторов и комплексного проекта в целом позволит перейти к мелкосерийному производству бетавольтаических генераторов длительного срока службы, что в перспективе создаст новую область рынка источников питания, а также обеспечит развитие наукоемких отраслей, таких как ядерная энергетика, полупроводниковая и химическая промышленность.

#### 5. Эффекты от внедрения результатов проекта

С помощью разрабатываемой технологии могут быть созданы источники питания длительного срока службы, позволяющие обеспечивать работу электронных устройств, расположенных в труднодоступных районах, космосе или в случае специального применения. Внедрение разрабатываемой технологии позволит как уменьшить негативное воздействие на окружающую среду, в первую очередь за счет замены РИТЭГов на более безопасные бетавольтаические генераторы.

#### 6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

Основными направлениями по коммерциализации результатов будут отрасли промышленности, выпускающие электронную аппаратуру, в том числе для специального применения и научно-исследовательских лабораторий. Объем выпуска бетавольтаических генераторов на сегодняшний момент ограничен количеством нарабатываемого высокообогащенного изотопа  $^{63}\text{Ni}$ , однако возможно использование энергетического материала другого изотопного состава.

#### 7. Наличие соисполнителей

Соисполнитель - Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов" (ФГБНУ ТИСНУМ). Организация привлекается в качестве соисполнителя на весь срок проведения ПНИ.

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС"

\_\_\_\_\_  
проректор по науке и инновациям

(должность)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
Филонов М.Р.

(фамилия, имя, отчество)

#### Руководитель работ по проекту

\_\_\_\_\_  
доцент

(должность)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
Быков А.С.

(фамилия, имя, отчество)

М.П.