

# Данные заявки

**Направление заявки:**

Н4. Новые приборы и интеллектуальные производственные технологии

---

**Полуфинал:**

Четвертая внутривузовская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых РГРТУ.

---

## ДАННЫЕ О ПРОЕКТЕ

**Название проекта:**

Разработка микрофокусной рентгеновской трубки высокой мощности

---

**Область техники:**

ОТ4.01. Электроника. Электронные и радиоэлектронные приборы и аппаратура

---

**Приоритетное направление:**

8. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика.

---

**Критическая технология федерального уровня:**

11. Технологии диагностики наноматериалов и наноустройств.

---

**Ключевые слова:**

интенсивность рентгеновского излучения, микрофокусная рентгеновская трубка, электронная оптическая система, численное моделирование, тепловая труба

---

**Участие в других проектах:**

В рамках работ по гранту РФФИ произвёл тепловой расчет анодных узлов микрофокусных рентгеновских трубок

---

## УЧАСТНИК ПРОЕКТА

**Имя, фамилия:**

Козлов Евгений Александрович

---

**Дата рождения:**

05.07.1993

---

**Пол:**

Мужской

---

**Почтовый индекс:**

390000

---

**Почтовый адрес:**

ул.Полетаева, д.30/1, к.307

---

**Регион:**

---

**Город:**

Рязань

---

**Номер телефона:**

+7 920 972 50 40

---

**Факс:**

---

**Контактный email:**

ewg.kozlov2015@yandex.ru

---

**Учёная степень:**

отсутствует

---

**Учёное звание:**

отсутствует

---

**Учебное заведение:**

Рязанский государственный радиотехнический университет

---

**Специальность:**

---

**Место работы:**

---

**Должность:**

инженер

---

**Профессиональные достижения:**

Навыки работы с программой по моделированию электро-оптических систем, опыт расчета систем теплопередачи

---

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПРОЕКТА

**Цель выполнения НИР:**

Создание микрофокусной рентгеновской трубки с анодом прострельного типа, конструкция которого позволяет рассеивать большие тепловые мощности, выделяемые в результате бомбардировки поверхности мишени сфокусированными высокоэнергетическими электронами

---

**Назначение научно-технического продукта (изделия и т.п.):**

Применение: просвечивающая теневая микрофокусная рентгеноскопия, дифракция рентгеновских лучей, компьютерная микротомография при анализе объектов микроэлектроники, медицины, в геологии и геодезии

---

**Научная новизна предлагаемых в проекте решений:**

использование в качестве анода так называемой "тепловой трубы", которая способна рассеивать рекордные количества тепла из малых областей локального нагрева, что способствует качественному повышению мощности микрофокусных рентгеновских трубок

---

### **Обоснование необходимости проведения НИР:**

Необходимость проведения НИР связана с преимуществом микрофокусных трубок, а именно:

- высокая локальность воздействия на исследуемый или обрабатываемый объект,
- снижение дозы облучения смежных с объектом областей,
- лучшее качество теневых изображений при одинаковой дозе облучения,
- возможность получения увеличенных рентгеновских изображений.

Типовое значение мощности известных рентгеновских трубок составляет порядка 10 Вт. Для повышения качества рентгенограмм, дифракционных картин необходимо повышать на порядок и больше мощность трубок. Увеличение мощности трубки приводит к большим выделениям тепловой мощности, что влечет за собой модернизацию анодного узла, для эффективного отвода тепловой мощности, и всей конструкции трубки в целом.

Для решения задачи используем численные методы расчета электронно-оптической системы трубки (метод граничных элементов, метод Рунге-Кутты-Фельберга), аналитические методы решения задач теплопроводности, применение современных САПР для расчета распределения тепловых полей.

---

### **Основные технические параметры, определяющие количественные, качественные и стоимостные характеристики продукции (в сопоставлении с существующими аналогами, в т.ч. мировыми):**

Основной недостаток классических источников прострельного типа состоит в том, что верхний предел мощности, рассеиваемой на плоском аноде, невелик и не превышает 1 Вт на 1 мм<sup>2</sup> площади поперечного сечения электронного пучка [1, 2]. Мощность таких трубок составляет порядка 10 Вт, а стоимость варьируется от 30 до 60 тыс. руб. Дальнейшее увеличение плотности мощности приводит к разрушению материала анода.

Чем выше мощность, рассеиваемая на аноде, а значит и интенсивность рентгеновского излучения, тем качественнее и информативнее теневые изображения. Поэтому основные направления исследований по совершенствованию микрофокусных рентгеновских трубок прострельного типа связаны с повышением их мощности.

Часть исследований направлена на оптимизацию многослойных твердотельных структур, применяемых в качестве анода. Основная концепция таких анодов заключается в последовательном осаждении нескольких пар слоев «мишень-подложка» [3]. Экспериментально показана практическая целесообразность создания многослойных структур типа «сэндвич» для целей рассеяния больших тепловых мощностей и повышения эффективности генерации рентгеновского излучения («выхода флуоресценции»), например, структур такой последовательности, как Ta-Cu-Ta-Cu-Ta.

Другая часть исследований связана с поиском нетрадиционных или новых материалов, характеризующихся значительной теплопроводностью, например, алмазов [1], для применения в качестве подложек.

Однако качественного увеличения мощности такие способы дать не могут.

Наибольшей светимостью на настоящий момент обладают микрофокусные трубки с анодами нового типа на основе "жидких" металлов. Жидкометаллический анод отличается тем, что металл уже расплавлен и нет причин опасаться его расплавления. В жидко-струйных источниках, имеющих рекордную интенсивность расходящегося из малой области излучения, сильный локальный разогрев жидкого металла предупреждается регенерацией материала в области излучения за счет замены его порцией свежего со скоростью 100 м/с [4]. Основным недостатком источников рентгеновского излучения с жидкометаллическими анодами является их техническая сложность, и, как следствие, высокая стоимость около 1 млн. руб.

В данной работе предлагается способ качественного повышения мощности микрофокусных трубок за счет применения в качестве анода так называемой «тепловой трубы» [5]. Heat pipes (HP) [6] способны рассеивать рекордные количества тепла из малых областей локального нагрева. Таким образом, в результате работы должны получить микрофокусную рентгеновскую трубку по параметрам и характеристикам не уступающую трубке с "жидким" анодом, но сопоставимую по цене с обычными. Это говорит о том что разрабатываемая трубка в 20 раз дешевле трубки в жидким анодом и не уступающая по показателям отводимой мощности.

Литература:

[1] <http://www.x-ray-worx.com/x-ray-worx/index.php/en/microfocus-x-ray-tubes-overview>

[2] Ivanov S.A., Schukin G. A. X-ray tubes for engineering (rus.). Leningrad: mEnergootomizdat, 1989, 200 p.

[3] S. Korenev. Target from Production of X-rays. USA Patent: US 6,463,123

[4] O. Hemberg, M. Otendal, and H. M. Hertz. Liquid-metal-jet anode electron-impact x-ray source // Applied Physics Letters. – 2003. – vol .83, No. 7. – P. 1483-1485.

[5] Trubitsyn A.A. Microfocus transmission X-ray tube with high level of scattered power (rus.) // Russian Federation Patent Application № 2017118897. Receipt date 30.05.2017, www.fips.ru.

[6] P. D. Dunn, D.A. Reay. Heat pipes. Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris, Braunschweig: Pergamon Press, 1976, 299 p.

---

### **Конструктивные требования (включая технологические требования, требования по**

**надежности, эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту, хранению, упаковке, маркировке и транспортировке):**

Конструкция микрофокусной рентгеновской трубки включает в себя: катод, электрод Венельта, фокусирующий электрод, система позиционирования электронного луча расположены на одном основании и разделены керамическим изолятором, на котором также располагаются катодный и анодные узлы. В качестве источника электронов предлагается термокатод. Катод представлен в виде цилиндра, выполненный из тугоплавкого материала, например, импрегнированного вольфрама (для обеспечения большого срока службы рентгеновской трубки). Эмиссия электронов с катода возникает за счет его косвенного подогрева. Для фокусировки электронного пучка предусматривается специальный электрод, устанавливаемый на кольцевом керамическом изоляторе. Данный способ установки электрода обеспечивает достаточно точное его позиционирование относительно оси всей конструкции и не требует специальных крепежных элементов.

Анод выполняется в виде тепловой трубы, после проведения аналитических и численных расчетов.

---

**Требования по патентной защите (наличие патентов), существенные отличительные признаки создаваемого продукта (технологии) от имеющихся, обеспечивающие ожидаемый эффект:**

Готовиться подача заявки на патент РФ.

Отличительная особенность микрофокусной рентгеновской трубки в том, что в качестве анода используется тепловая труба, которая способна рассеивать большие тепловые мощности

---

**Задача по проекту в рамках договора по программе «УМНИК»:**

---

Календарный план проекта в рамках договора по программе «Умник»

**Первый этап:**

---

**Второй этап:**

---

## КОММЕРЦИАЛИЗУЕМОСТЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

**Область применения:**

Конечный результат работы будет представлен в виде микрофокусной рентгеновской трубки с анодом из тепловой трубы. Такая трубка будет являться основным функциональным узлом в диагностическом оборудовании: просвечивающая теневая микрофокусная рентгеноскопия, дифракция рентгеновских лучей, компьютерная микротомография при анализе объектов микроэлектроники в 3D; применение в медицинской диагностики, а также геологии и геодезии для разведывания полезных ископаемых.

---

**Объем внебюджетных инвестиций или собственных средств, источники средств и формы их получения, распределение по статьям затрат:**

Объем внебюджетных инвестиций не рассматривался.

В рамках проведения НИР имеется научно-техническая база:

- экспериментальный стенд, в состав которого входят рентгенозащитная камера, рентгенозащитная ширма, дозиметры, компьютер, высоковольтный блок питания с дополнительным набором высоковольтных кабелей и разъемов, киловольтметр, рентгеновская трубка фирмы SIMIENS, тестовый образец «штриховая мира», набор образцов различного назначения, детектор рентгеновского излучения;
- компьютеры и ПО для моделирования

Доступен производственный потенциал ООО "Импульсные технологии", г. Рязань

---

**Имеющиеся аналоги:**

Известны: микрофокусные рентгеновские трубки с плоским анодом, трубки с анодом представляющие собой многослойные структуры, с целью увеличения рассеиваемой мощности. Использование алмаза в качестве материала подложки анода, из-за значительной теплопроводности алмазов. У выше описанных трубок существенным недостатком является малая мощность, что снижает качество получаемых рентгеновских картин. Имеются трубки с

жидкометаллическим анодом, в которых материал анода уже расплавлен и нет причин опасаться его расплавления. Основным недостатком источников рентгеновского излучения с жидкометаллическими анодами является их техническая сложность, и, как следствие, высокая стоимость.

---

**План реализации всего проекта:**

1. Научно-технический и аналитический обзоры по предметной области проекта. Научно-технический поиск решений поставленной задачи. Патентный поиск. Предварительный выбор материалов.
  2. Компьютерное моделирование электронно-оптической схемы микрофокусного рентгеновского источника высокой мощности. Выбор оптимальной схемы источника.
  3. Оценочный расчет конструкции анодного узла (в виде тепловой трубы). Выбор материалов и рабочей жидкости.
  4. Оптимизация анодного узла путем теоретического расчета.
  5. Численный эксперимент по оценке тепловых свойств анода средствами SolidWorks и Comsol Multiphysics.
  6. Расчет катодного узла по полученным значениям рассеиваемой мощности на аноде. Разработка требований к электрической прочности трубки.
  7. Разработка конструкции трубки в CAD SolidWorks.
  8. Изготовление узлов и деталей трубки, сборка трубки. Проведение экспериментальных исследований. Обобщение и оценка результатов исследований.
- 

## ФАЙЛЫ

Нет загруженных файлов