

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки: 16.03.02 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки»

Отделение материаловедения

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Разработка катода импульсного электронного ускорителя с высоким ресурсом УДК 621.384.6.032.21-043.61

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Девальд Елизавета Витальевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Егоров Иван Сергеевич	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения контроля и диагностики	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.б.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Плазменно-пучковые и электроразрядные технологии	Лопаткин Сергей Анатольевич	к.т.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять естественнонаучные и профессиональные знания в области физики плазмы, плазменно-пучковых и электроразрядных технологий в профессиональной деятельности
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области профессиональной деятельности
P3	Применять полученные знания для решения комплексных задач, возникающих при разработке и эксплуатации новой техники и технологий
P4	Разрабатывать, внедрять, эксплуатировать и обслуживать высокотехнологичное оборудование в предметной сфере, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
P5	Владеть методами проведения и планирования аналитических, имитационных и экспериментальных исследований по своей специализации с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе.
P6	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования в области профессиональной деятельности
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Использовать базовые и специальные знания естественных, гуманитарных и экономических наук для ведения комплексной инженерной деятельности.
P8	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной научно-технической деятельности
P11	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля; осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования; уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки

# Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки: 16.03.02 «Высокотехнологические плазменные и энергетические  
установки»  
Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_/Лопаткин С.А./  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

## ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
4Т41	Девальд Елизавета Витальевна

Тема работы:

Разработка катода импульсного электронного ускорителя с высоким ресурсом

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 1780/с от 15.03.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:

20 июня 2018 года

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>	Литературные данные, результаты выполнения УИР и прохождения практики
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1 Литературный обзор по тематике исследования; 2 Разработка конструкции катода с высоким ресурсом; 3 Описание экспериментального стенда; 4 Методики проведения экспериментов; 5 Результаты исследования и их обсуждение; 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 7 Социальная ответственность.

<b>Перечень графического материала</b>	Презентация в Microsoft PowerPoint
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская Марина Витальевна
Социальная ответственность	Ахмеджанов Рафик Равильевич

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	23 апреля 2018 г.
---	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Егоров Иван Сергеевич	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Девальд Елизавета Витальевна		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
 высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки: 16.03.02 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки»  
 Уровень образования: бакалавр  
 Отделение материаловедения  
 Период выполнения: 2017/2018 учебный год

Форма представления работы:

<b>бакалаврская работа</b>
----------------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20 июня 2018 г.
--	-----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Литературный обзор	
	Расчетно-конструкторская часть	
	Экспериментальная часть	
	Финансовый менеджмент	
	Социальная ответственность	

Составил руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Егоров Иван Сергеевич	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Плазменно-пучковые и электроразрядные технологии	Лопаткин Сергей Анатольевич	к.т.н.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 85 с., 11 рис., 24 табл., 19 источников, 1 прил.

**Ключевые слова:** ВЗРЫВОЭМИССИОННЫЙ КАТОД, ВЗРЫВНАЯ ЭМИССИЯ ЭЛЕКТРОНОВ, ИМПУЛЬСНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОНОВ.

**Объектом исследования** является катод импульсного электронного ускорителя с высоким ресурсом.

**Цель работы:** разработка катода импульсного электронного ускорителя с высоким ресурсом.

**В процессе исследования** проводились обзор литературы; проектирование и расчет конструкции катода с высоким ресурсом; эксперименты по подтверждению работоспособности разработанного катода; оценка эффективности работы катода.

**В результате исследования** была подтверждена работоспособность разработанного катода.

**Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:** режим работы – импульсный; выведенный ток пучка до 525 А; ускоряющее напряжение до 320 кВ.

**Область применения:** радиационные технологии, научные исследования.

**Экономическая эффективность/значимость работы:** разработанный катод обладает высокой экономической эффективностью, что позволяет ему конкурировать на рынке.

**В будущем планируется** оптимизация конструкции и дальнейшие испытания на экспериментальном стенде.

## Оглавление

Введение .....	8
1 Литературный обзор по тематике исследования .....	9
2 Разработка конструкции катода с высоким ресурсом .....	17
3 Описание экспериментального стенда .....	19
4 Методики проведения экспериментов	
4.1 Испытания разработанного катода на расход частиц вещества эмиттера .....	23
4.2 Испытания разработанного катода на импульсном электронном ускорителе «АСТРА-М» .....	23
5 Результаты исследования и их обсуждение .....	25
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ..	30
7 Социальная ответственность .....	60
Заключение .....	82
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	83
Список использованных источников .....	84

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Актуальность работы**

Традиционные материалы для изготовления катодов импульсных ускорителей, как графит и медь, обеспечивают  $10^8$  импульсов тока пучка [1]. Ресурс катода может снижаться при увеличении частоты повторения импульсов, сложных температурных режимах работы. Ресурс существенно снижается для катодов ускорителей, не использующих формирующие линии, то есть с относительно пологим фронтом импульса ускоряющего напряжения. Ограниченный ресурс применяемых катодов сдерживает успешное применение таких электронных ускорителей с субмикросекундной длительностью импульса. Применение катодов, где в качестве плазмообразующего материала будет использоваться жидкость, подаваемая извне, позволит создать катоды с теоретически неограниченным ресурсом.

**Цель работы** – разработка катода импульсного электронного ускорителя с высоким ресурсом.

**Объект исследования** – катод импульсного электронного ускорителя с высоким ресурсом.

### **Задачи:**

- разработка конструкции катода с высоким ресурсом;
- определение расхода вещества эмиттера;
- испытание разработанного катода на импульсном электронном ускорителе «АСТРА-М».

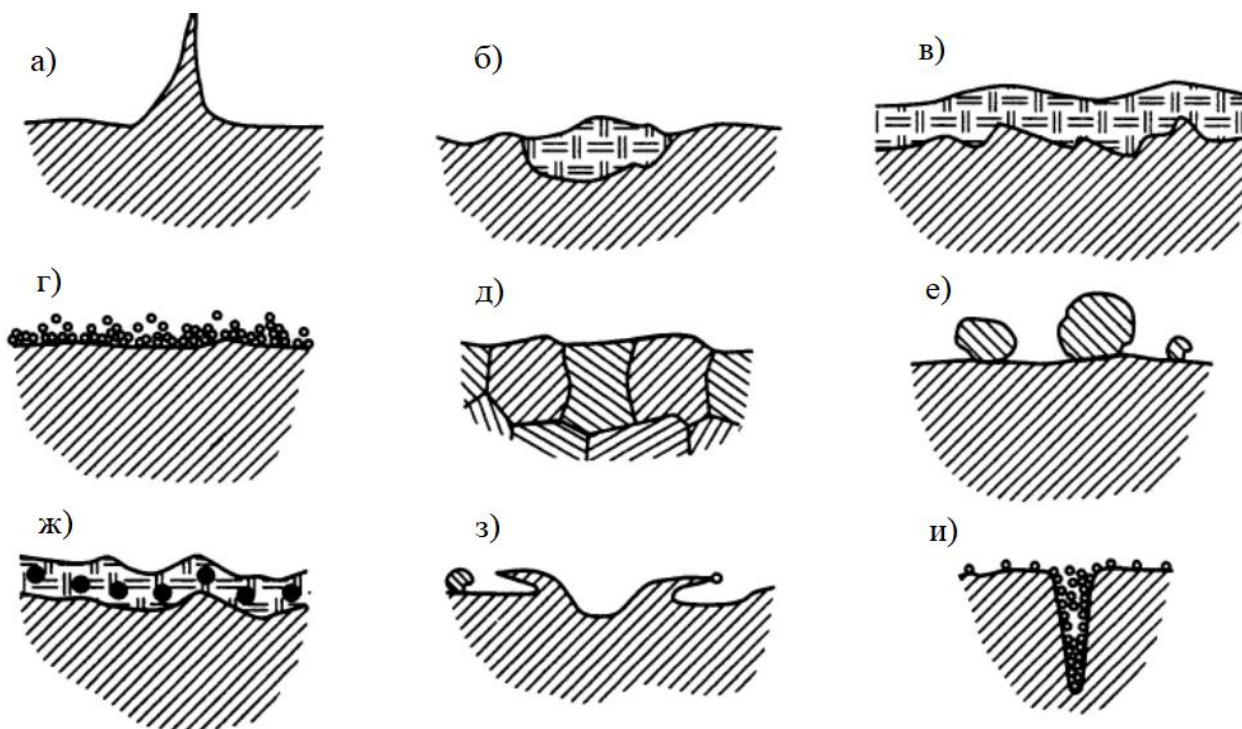


## 1 Литературный обзор по тематике исследования

Для получения сильноточных импульсных пучков необходимо использование ускорителя электронов, который содержит два основных элемента: диод для ускорения электронов и генератор импульсов ускоряющего напряжения. В качестве источника электронов в диодах импульсных ускорителей большой мощности с током вплоть до  $10^6$  А обычно используют катоды со взрывной эмиссией электронов (ВЭЭ) с энергией от нескольких сотен кэВ до нескольких МэВ и длительностью ( $10^{-10}$ – $10^{-7}$ ) с [2].

Суть явления ВЭЭ заключается в том, что при приложении к анод-катодному промежутку ускорителя электрического поля с напряженностью более (200-300) кВ/см происходит разогрев и взрыв микронеоднородностей на поверхности катода. После взрыва микронеоднородностей образуется катодный факел, состоящий в основном из плазмы и паров материала катода, а также плазмы адсорбированного газа. Распределение концентрации плазмы в катодном факеле неоднородно [4]. Образующаяся при микровзрывах плазма и служит источником электронов в сильноточных ускорителях. Образующиеся после микровзрывов микрократеры на поверхности катода в дальнейшем служат эмиссионными центрами [3]. Эмиссия длится обычно в течение ( $10^{-9}$ – $10^{-8}$ ) с, а затем прекращается сама по себе, так как взрывной центр самоохлаждается из-за теплопроводности, испарения, выброса нагретого металла и т.д.

На рисунке 1 приведены примеры нарушения идеальной структуры поверхности, в результате которых может возникнуть взрывная эмиссия электронов [1].



а) – микровыступы; б) – диэлектрические включения; в) – оксидные и другие неорганические диэлектрические пленки; г) – слои адсорбированного газа; д) – выход на поверхность межзеренных границ; е) – микрочастицы; ж) – продукты крекинга паров масла; з) – края кратеров, образовавшихся в результате пробоев; и) – поры и трещины

Рисунок 1 – Различные типы эмиссионных центров, приводящих к пробоям вакуумных промежутков

Взрывная эмиссия электронов включает в себя процессы, ведущие к созданию фазового перехода и происходящие на границе металла с плазмой, и ее взаимодействие с током электронов. ВЭЭ характеризуется большой плотностью плазмы (более  $10^{20}$  см<sup>-3</sup>) в катодной области зоны эмиссии, сильной ее неоднородностью в малых объемах ( $(10^{-8}-10^{-9})$  см<sup>-3</sup>), малым временем протекания процессов ( $(10^{-10}-10^{-8})$  с), большой плотностью тока катода ( $(10^6-10^9)$  А/см) и т.д. [4]

Как уже было написано выше, в качестве источника электронного пучка в импульсных ускорителях применяются взрывоэмиссионные катоды за счет

таких характеристик, как: невысокие требования к вакууму и выработка требуемой плотности тока. В связи с чем, были рассмотрены основные виды взрывоэмиссионных катодов, применяемых в наносекундных ускорителях электронов:

#### **- многоострийные катоды**

Многоострийный катод обычно выполняется из цилиндрических эмиттеров, установленных перпендикулярно поверхности катода.

Принцип работы многоострийного катода заключается в следующем: импульс высокого напряжения создает вблизи эмиттирующей поверхности катода сильное электростатическое поле, под действием которого происходит взрыв концов выступающих частей, что приводит к появлению мощного импульса электронного тока [5].

В [1] описан многоострийный катод, в котором эмиттер выполнен из фольги, что позволит увеличить надежность всего катода. Однако такой катод будет обладать недостатками, такими как: значительная неоднородность электронного пучка за счет неконтролируемости числа и расположения взрывных эмиссионных центров, а также механическая неустойчивость из-за применения достаточно тонких фольг.

В работе [6] испытаны многоострийные катоды, в которых в качестве материала фольговых эмиттеров были Ti, Ni, Nb, Al, Cu, Pb, графит и латунь. По результатам исследований наиболее эрозийно стойкими оказались медные эмиттеры. В то же время, применение оловянных и графитовых катодов, обладающих меньшей эрозийной стойкостью, обеспечивали наибольшее число стабильных включений тока. Соответственно, материал катода, геометрические параметры и условия эксплуатации эмиттеров влияют на срок службы и стабильность эмиссии.

Также в данной работе был предложен многоострый катод, выполненный из тонких медных проволок, обеспечивающий длительную эксплуатацию, относительно простую конструкцию и однородное распределение плотности тока по сечению.

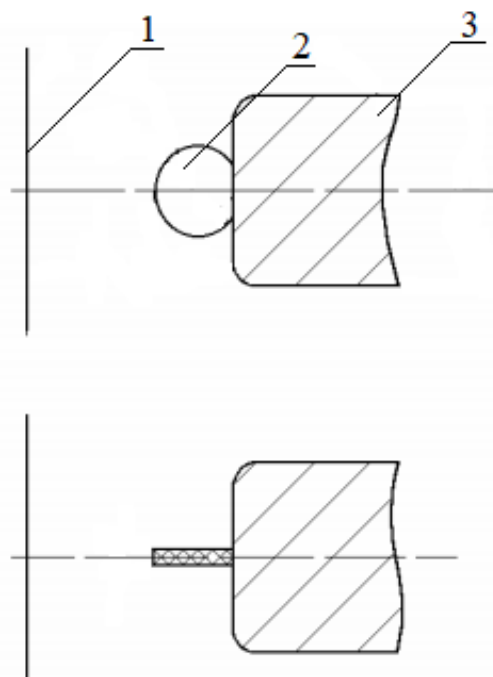
К достоинствам данного типа катода относятся:

- высокая эмиссионная способность [7];
- усиление напряженности поля в десятки и сотни раз за счет содержания большого количества тонких острий радиусом порядка (0,1–1) мкм [4];
- высокая стабильность амплитуды тока от импульса к импульсу в течении длительного периода времени;
- сокращенное время образования взрывоэмиссионной плазмы [8].

К недостаткам можно отнести следующие:

- целесообразное использование при напряженности электрического поля в катод-анодном зазоре  $E > 50$  кВ/см [9];
- нестабильность и недолговечность катода [1].
- **металлокерамические (МК) катоды**

МК-катод представляет собой пластину из керамики с равномерно распределенными по объему металлическими частицами, часть которых выходит на поверхность пластины (конструкция представлена на рисунке 2) [10].



1 – анод; 2 – пластина; 3 – катододержатель

Рисунок 2 – Конструкция МК-катода

Принцип формирования плазмы в МК-катоде основан на существенной разнице в температурных коэффициентах линейного расширения у керамики и металла, и, как следствие, после синтеза происходит остывание системы и вокруг металлических частиц образуются микрополости, служащие поставщиками газа при поверхностном образовании плазмы на катоде (эмиттирующая плазма возникает вследствие развития газового разряда в микропорах между диэлектриком и металлом) [11].

Известна конструкция катода, представленная в [7], где МК-катод представлял собой плоскую цилиндрическую медную матрицу с относительно равномерными распределенными в объеме частицами керамики  $BaTiO_3$ . Согласно приведенным результатам экспериментальным исследованиям, данный катод обладает высокой эффективностью генерации и вывода пучка электронов, а также обладает высокой импульсной мощностью энергией.

Данный тип катодов обладает следующими характеристиками:

- повышенная эмиссионная способность при относительно небольших значениях напряженности электрического поля в вакуумном диоде, которая позволяет увеличить ток пучка, скорость нарастания тока и мощность;
- неизменность характеристик и их воспроизводство при длительной эксплуатации, более  $10^8$  импульсов;
- относительная простота конструкции;
- управление эмиссионными свойствами МК-катода изменением состава МК-пластины (размером металлических частиц, их плотности на поверхности и диэлектрической постоянной материала керамики) [12].

Имеет следующие недостатки:

- ухудшение вакуума, вследствие чего могут происходить короткие замыкания на крышку и фольгу выходного окна вакуумной камеры;
  - загрязнение фольги, приводящее к ее нагреву и снижению энергии выведенного тока пучка [9].
- металлодиэлектрические (МДМ) катоды.**

МДМ-катод представляет собой пластину из диэлектрика с большой диэлектрической проницаемостью, к которой плотно прижимается металлическая сетка.

МДМ-структура представляет собой сэндвич из двух слоев металла, между которыми расположен диэлектрик (изображена на рисунке 3) [13].

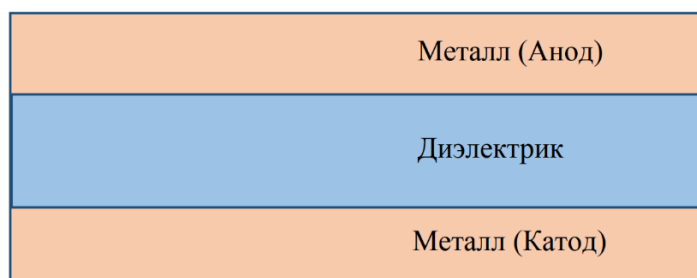


Рисунок 3 – Схематичное представление МДМ-структуры

Принцип действия основан на использовании эмиссии электронов из плазмы незавершенного импульсного разряда по поверхности диэлектрика в вакууме [9], а именно, эмиссия электронов в тройной точке: металл-диэлектрик-вакуум [2].

МДМ-катод целесообразно использовать при большой скорости нарастания напряжения [9].

Имеет следующие недостатки согласно [10]:

- сложность конструкции;
- ограниченность числа точек эмиссии (приводит к эрозии поджигающих электродов и керамики под ними, неоднородности распределения тока на выходной фольге вакуумного диода и достаточно высокому импедансу диода при небольших размерах катодного узла).

Одной из серьезных проблем использования МДМ-катодов является металлизация поверхности диэлектрика за счет жидкого металла, плазмы и пара, испускаемых эмиссионными центрами, что затрудняет функционирование катода, а также при длительной работе происходит разрушение диэлектрика [1]. Решением данной проблемы является усложнение конструкции катода.

В работе [14] описана работа МДМ-катода, выполненного из диэлектрических волокон, вставленных перпендикулярно в плоский катод. Данная конструкция может обеспечить на катоде сплошное плазменное образование и однородный электронный пучок.

#### **- лезвийный катод**

Лезвийный катод выполняется из металлических, например, медных концентрических колец, закрепленных на подложке.

На основе проведенных испытаний в [9] были выявлены следующие характеристики:

- обладает высокой эмиссионной способностью и высоким значением выведенного тока (до 1 кА);
- простота конструкции;
- отсутствие диэлектрических включений в конструкции катода (приводит к его эффективному охлаждению в процессе работы);
- равномерное распределение тока по сечению.

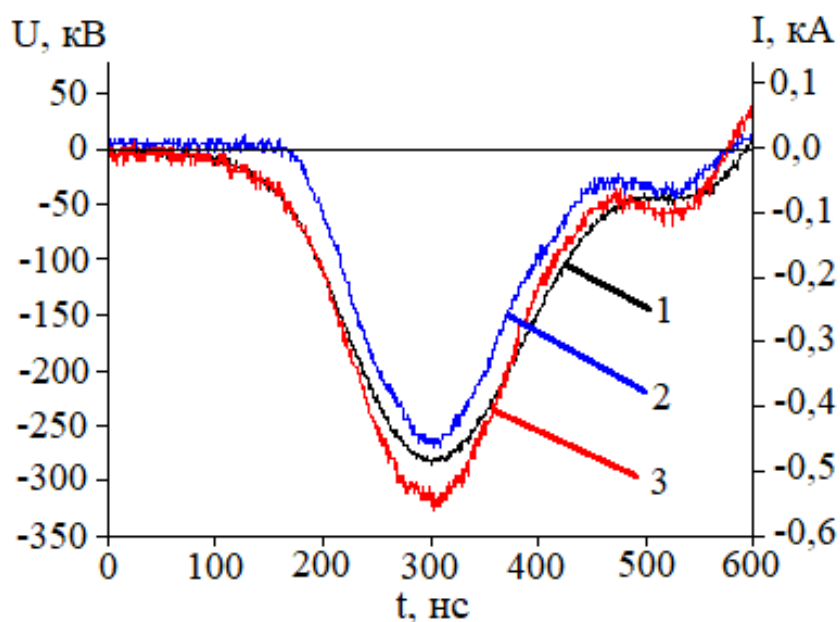
### **Вывод**

Приведенные взрывоэмиссионные катоды обладают высоким ресурсом, согласно [1], при их применении в импульсных ускорителях электронов, основанных на формирующих линиях. Однако, при использовании данных катодов в ускорителях, основанных на трансформаторной схеме генерации напряжения, их ресурс снижается приблизительно на два порядка, что обусловлено пологим фронтом импульса. Соответственно, данная проблема легла в основу проектирования конструкции катода с применением в качестве плазмообразующего материала жидкость, позволяющая увеличить ресурс работы при использовании в импульсных ускорителях электронов с трансформаторной схемой генерации напряжения.



## 2 Разработка конструкции катода с высоким ресурсом

Для проектирования конструкции катода, необходимо было произвести оценку требуемого количества частиц, не ограничивающего ток генератора. Для этого использовали осциллограмму (приведена на рисунке 4), полученную с помощью катода, описанного в [15] и применяемого в импульсном ускорителе электронов, основанном на трансформаторной схеме генерации напряжения.



1 – ускоряющее напряжение; 2 – ток выведенного пучка; 3 – ток генератора

Рисунок 4 – Характерная осциллограмма напряжения и токов катода

Оценили перенесенный пучком заряд:

$$Q = \int I dt = 59,537 \text{ мкКл.}$$

$$Q = n \cdot q_e;$$

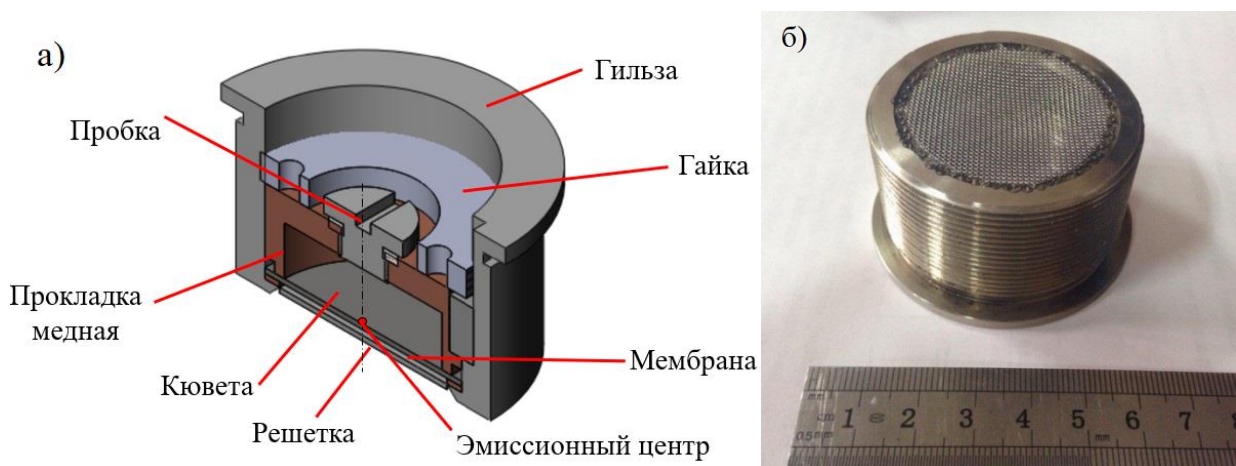
где  $n$  – количество частиц;

$q_e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл – заряд электрона [16].

$$n = Q/q_e = 59,537 \cdot 10^{-6} / 1,602 \cdot 10^{-19} = 3,716 \cdot 10^{14}.$$

Количество частиц, необходимых для инициирования тока в разработанном катоде  $n = 3,716 \cdot 10^{14}$ .

Было произведено проектирование конструкции (представлена на рисунке 5), которая обеспечивала бы необходимое количество частиц.



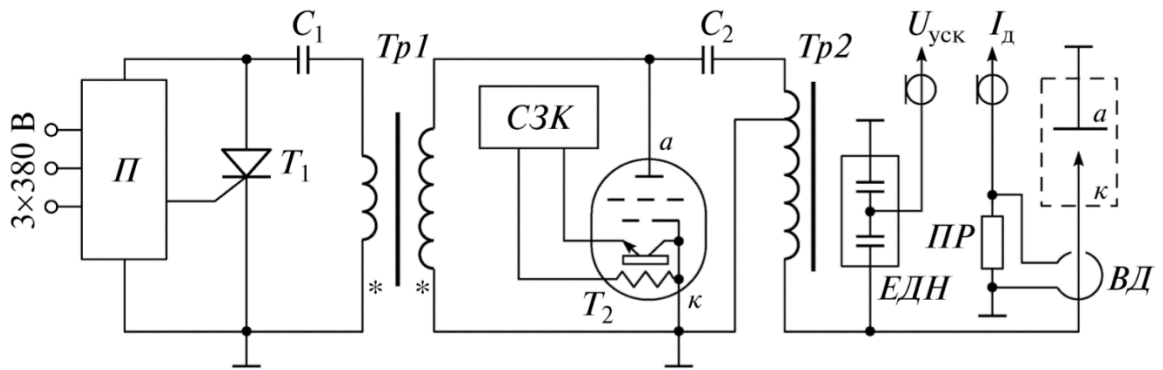
а) – конструкция; б) – внешний вид

Рисунок 5 – Разработанный катод

Разработанный катод обладает одним эмиссионным центром (отверстием), диаметр которого составил 0,25 мм; диаметр катода составил 41 мм; для ограничения расхода жидкости использовали мембрану с известной проницаемостью, материал мембраны – лавсан (полиэтилентерефталат) (параметры в приложении А).

### 3 Описание экспериментального стенда

В качестве экспериментального стенда для испытания разработанного катода использовался импульсный электронный ускоритель «АСТРА-М», принципиальная схема которого изображена на рисунке 6.



П – первичный преобразователь;  $T_1$  – тиристорный коммутатор;  
 $T_2$  – коммутатор ТДИ1-100К/45ПД; Тр1 – повышающий импульсный трансформатор ( $K=16$ ); Тр2 – высоковольтный импульсный трансформатор;  
 $C_1=40$  мкФ – первичный накопитель;  $C_2=95$  нФ – высоковольтный накопитель; СЗК – схема запуска коммутатора; ВД – вакуумный диод (к – катод, а – анод); ЕДН – емкостный делитель напряжения; ПР – пояс Роговского

Рисунок 6 – Принципиальная схема ускорителя АСТРА-М

Принцип действия импульсного ускорителя: первичный накопитель  $C_1$  заряжается от источника постоянного тока П до заданного значения напряжения. По окончании заряда подается пусковой сигнал на открытие полупроводникового коммутатора  $T_1$ , и энергия, запасенная в  $C_1$ , через повышающий импульсный трансформатор Тр1 передается емкостной батарее  $C_2$ .

В момент времени, когда ток заряда  $C_2$  становится равным нулю, система запуска коммутатора (СЗК) формирует импульс поджига на управляющем электроде высоковольтного коммутатора  $T_2$ . При открытии  $T_2$

запасенная в  $C_2$  энергия передается через высоковольтный импульсный трансформатор Тр2 в вакуумный электронный диод. Сформированный в катод-анодном промежутке электронный пучок инжектируется в атмосферу через выпускное окно из титановой фольги.

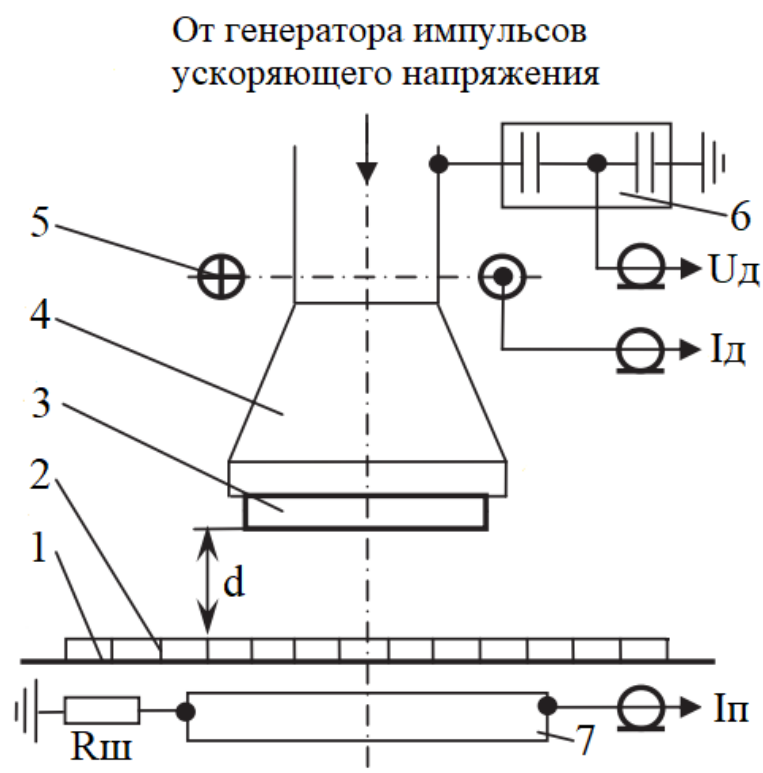
Импульсный электронный ускоритель «АСТРА-М» разработан для технологического применения в качестве источника электронного пучка с выводом в атмосферу при длительной работе с частотой следования импульсов до 50 Гц [17]. Он обладает следующими параметрами: ускоряющее напряжение до 450 кВ, длительность импульса напряжения 300 нс, максимальный выведенный ток 1 кА [9].

Ускорители прямого действия, к которым относится «АСТРА-М» применяются таких в радиационных технологиях, как:

- генерация озона из воздуха;
- стерилизация и очистка воды;
- радиационная стерилизация;
- радиационная стерилизация жидких пищевых продуктов;
- радиационная полимеризация и сополимеризация [18].

Практические применения требуют частотной работы и большого ресурса от всех узлов, в том числе и от катодов.

Одним из основных элементов ускорителя «АСТРА-М» является диодный узел, конструкция которого представлена на рисунке 7.



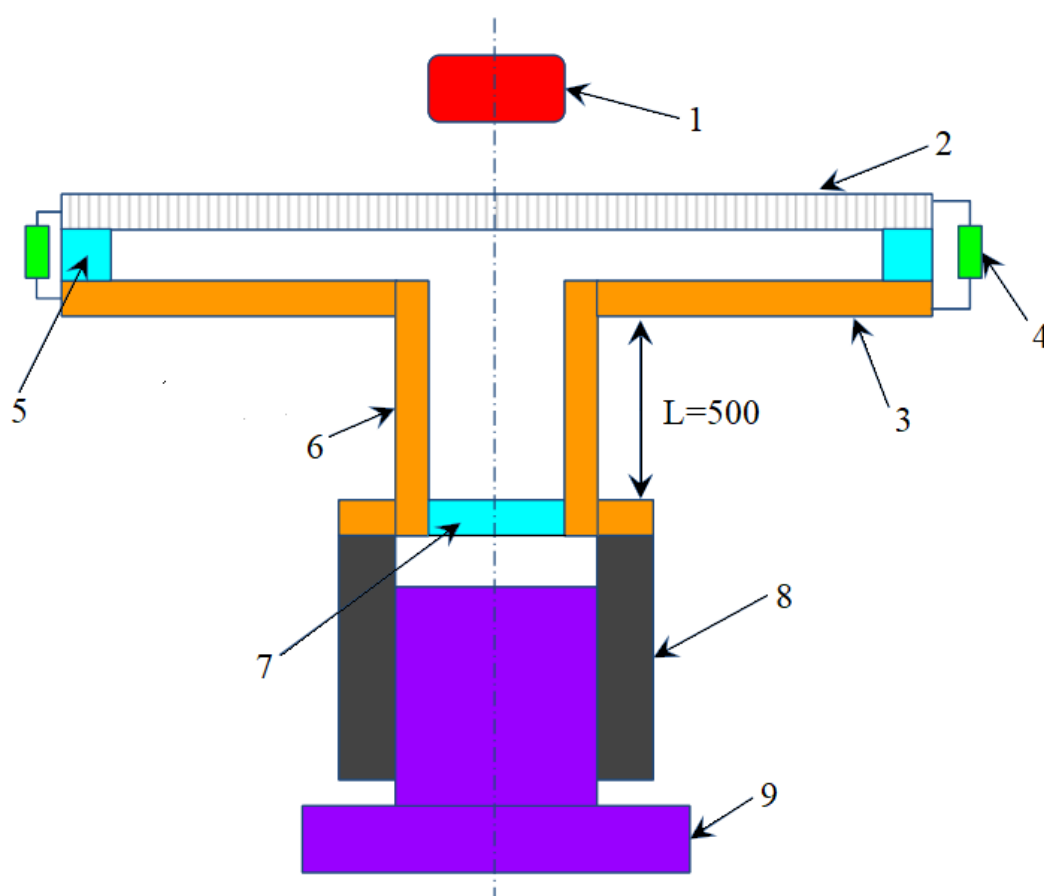
1 – разделительная фольга; 2 – поддерживающая решетка (анод);  
3 – катод; 4 – катододержатель; 5 – пояс Роговского; 6 – емкостной делитель  
напряжения; 7 – коллектор цилиндра Фарадея

Рисунок 7 – Диодный узел ускорителя

В конструкции выходного окна ускорителя используется разделительная титановая фольга марки ВТ1-0 толщиной 60 мкм, предназначенная для герметизации вакуумного объема диода. Поддерживающая решетка 2 выполнена из нержавеющей стали и имеет шестигранную ячейку с толщиной ребра 0,4 мм [19].

В качестве диагностического оборудования в импульсном электронном ускорителе «АСТРА-М» применяется устройство съемки эмиссионной поверхности катода, предназначенное для получения оптического изображения центров эмиссии на поверхности катода при одновременной регистрации эмиссионного тока.

Устройство представляет собой оптическую систему с прозрачным окном для ведения фотосъемки, которую устанавливают на место выпускного окна ускорителя. Защита оптической системы от влияния электронного пучка осуществляется коллектором 3 (длиной (40–50) см) – камерой дрейфа диаметром 50 мм с тем же остаточным давлением атмосферы, что и в диоде. С заземленным корпусом диода коллектор соединяется посредством резисторов 4, падение напряжения на которых позволит определить электронный ток пучка. Схематичное изображение конструкции данного устройства приведено на рисунке 8.



1 – катод; 2 – сетчатый анод; 3 – коллектор; 4 – резистор ТВО; 5 – изолятор; 6 – труба дрейфа; 7 – светопрозрачное герметичное окно; 8 – светозащитный кожух; 9 – фотокамера с открытым затвором

Рисунок 8 – Конструкция устройства съемки эмиссионной поверхности катода

## 4 Методики проведения экспериментов

4.1 Испытания разработанного катода на расход частиц вещества эмиттера

Целью данных экспериментов было определение расходуемого количества частиц вещества эмиттера при вакуумных условиях.

Методика проведения экспериментов:

- сборка катода согласно рисунку 4;
- измерение его сухого веса с помощью лабораторных весов CAS MWP-3000 ( $m_{\text{кат}}=346,2$  г);
- помещение жидкости в кювету катода ( $m_{\text{дист.в}}=5,0$  г) и измерение получившегося веса;
- установка катода в вакуумную камеру;
- откачка воздуха из камеры до  $10^{-1}$  Торр с помощью компрессорного насоса;
- испытания при вакуумных условиях;
- измерение веса катода после испытания;
- сравнение получившегося веса с исходным.

4.2 Испытания разработанного катода на импульсном электронном ускорителе «АСТРА-М»

Целью данных экспериментов было испытание разработанной конструкции катода на импульсном электронном ускорителе «АСТРА-М».

Методика проведения экспериментов:

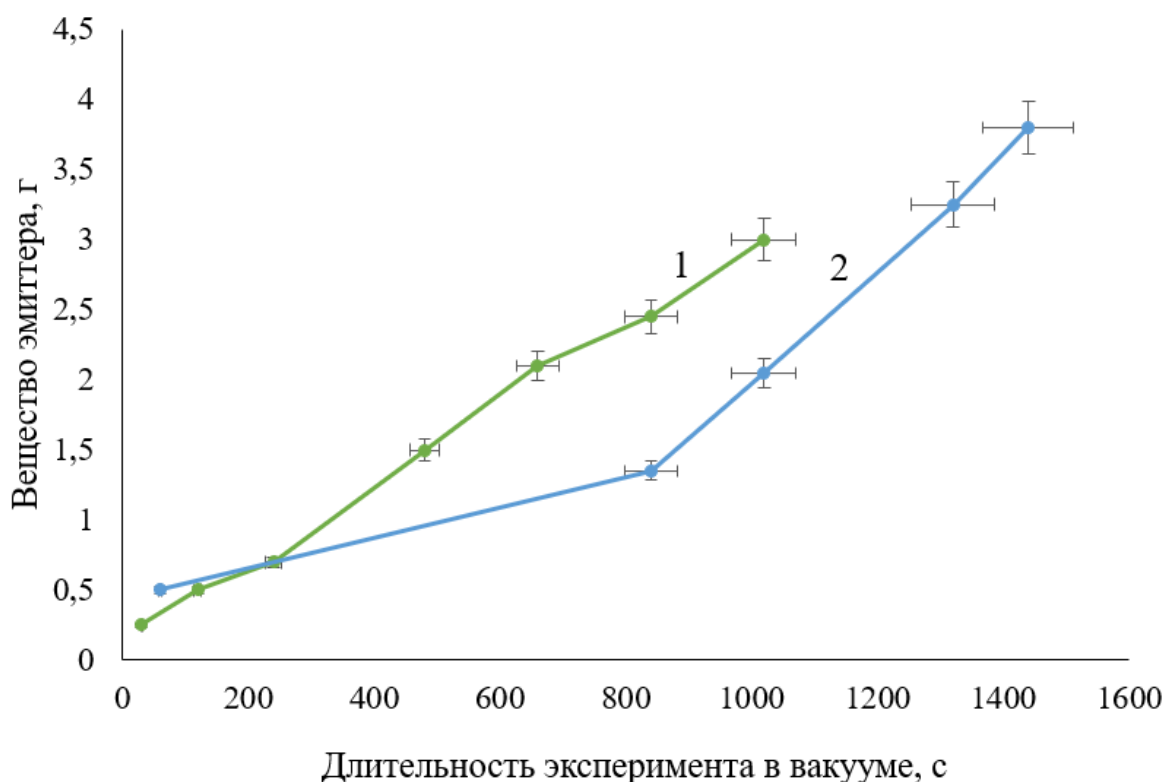
- сборка катода согласно рисунку 4;

- установка катода без жидкости/с жидкостью в вакуумную камеру;
- установка диагностического оборудования на выходное окно диодного узла;
- подача импульсов высокого напряжения на катод;
- регистрация эмиссионной поверхности катода посредством оптической системы, конструкция которой изображена на рисунке 7;
- регистрация осциллограмм напряжения и тока пучка, выведенного за анод с помощью осциллографа Tektronix TDS 2024 C.



## 5 Результаты исследования и их обсуждение

На основе проведенных экспериментов разработанного катода на расход частиц вещества эмиттера, методика которых описана в п.4.1, получили зависимости вещества эмиттера от длительности эксперимента в вакууме (представлено на рисунке 9).

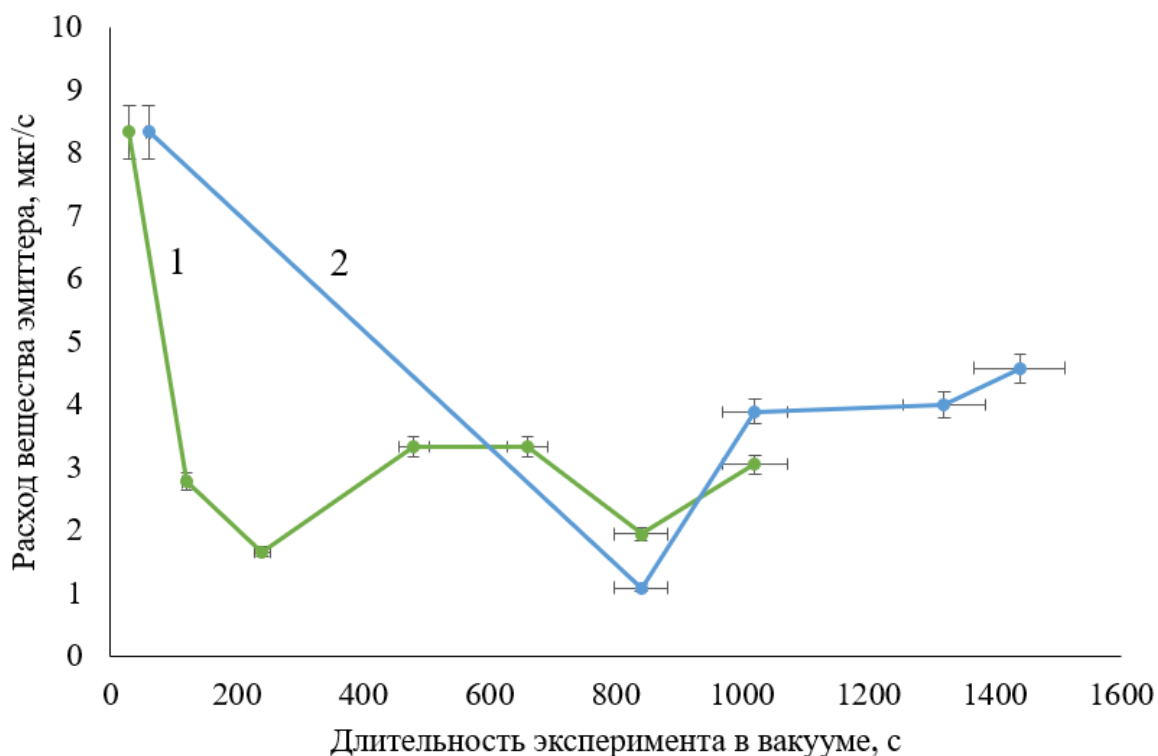


1 – первичная загрузка мембраны; 2 – вторичная загрузка мембраны

Рисунок 9 – Графики зависимостей вещества эмиттера от длительности эксперимента в вакууме

Исходя из получившихся зависимостей можно сделать вывод, что с увеличением длительности эксперимента в вакууме возрастает унос вещества эмиттера через отверстие.

После пересчета получившихся данных на расход вещества эмиттера получили зависимости, приведенные на рисунке 10.

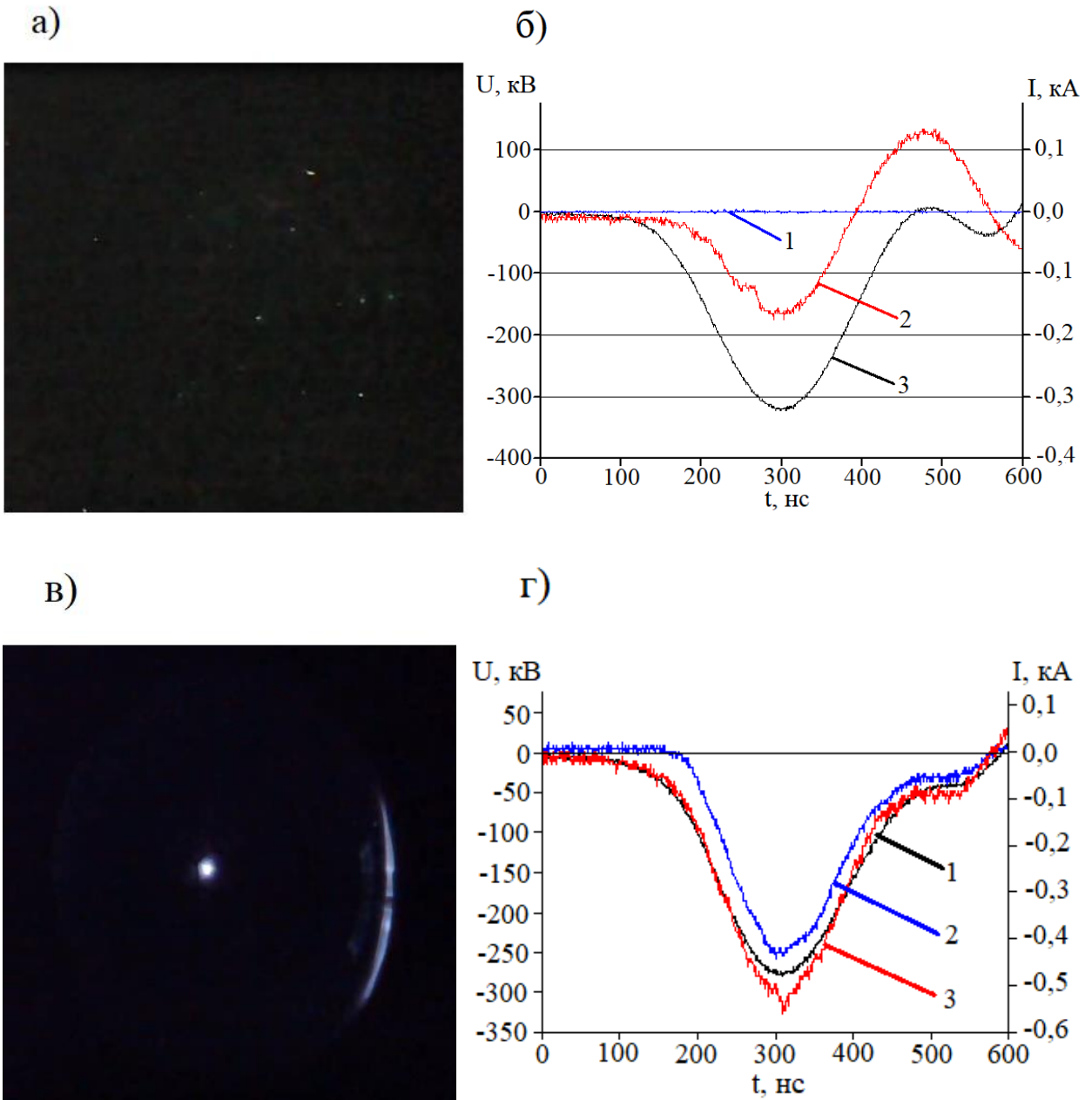


1 – первичная загрузка мембраны; 2 – вторичная загрузка мембраны

Рисунок 10 – Графики зависимостей расхода вещества эмиттера от длительности эксперимента в вакууме

Согласно рисунку 10 можно оценить расход вещества эмиттера в зависимости от длительности воздействия в вакууме, также графики получившихся зависимостей имеют подобный характер изменения кривых. При вторичной загрузке мембраны расход вещества эмиттера возрастает, что говорит об изнашиваемости материала мембраны.

Провели испытания, методика проведения которых описана в п.4.2. На основе проведенных экспериментов над разработанным катодом с высоким ресурсом на импульсном электронном ускорителе «АСТРА-М» получили оптические изображения эмиссионной поверхности катода и соответствующие им характерные осциллограммы напряжения и токов (представлено на рисунке 11).



1 – ускоряющее напряжение; 2 – ток выведенного пучка; 3 – ток генератора

а и б – без дистиллированной воды; в, г – с дистиллированной водой

Рисунок 11 – Оптические изображения эмиссионной поверхности катода (а, в) и соответствующие им характерные осциллограммы напряжения и токов (б, г)

На осциллограмме, приведенной на рисунке 11б, зарегистрировано отсутствие выведенного тока пучка, поэтому она напоминает режим холостого

хода. На оптическом изображении эмиссионной поверхности катода, изображенном на рисунке 11а, не наблюдается эмиссионный центр. Исходя из этого можно сделать вывод, что без использования дистиллированной воды в качестве вещества эмиттера разработанный катод не работоспособен.

На осциллограмме 11г зарегистрировано появление выведенного тока пучка, соответственно, на изображении эмиссионной поверхности катода (рисунок 11в) наблюдается один эмиссионный центр, это говорит о работоспособности разработанного катода.

По данным характерной осциллограммы напряжения и токов с использованием дистиллированной воды можно определить, какое количество частиц достаточно для инициирования выведенного тока пучка. Для этого воспользовались формулами для определения электрического заряда:

$$Q = \int Idt = 55,633 \text{ мкКл.}$$

$$Q = n \cdot q_e;$$

где  $n$  – количество частиц;

$q_e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл – заряд электрона.

$$n = Q/q_e = 55,633 \cdot 10^{-6} / 1,602 \cdot 10^{-19} = 3,473 \cdot 10^{14}.$$

Количество частиц, необходимых для инициирования тока в разработанном катоде  $n = 3,473 \cdot 10^{14}$ . Данная величина количества частиц сопоставима величине, рассчитанной при проектировании катода (подробно в разделе 2).

Установили, что плотности создаваемой плазмы достаточно, чтобы не ограничивать ток.

Таким образом, можно сделать вывод о возможности использования разработанного катода с подачей жидкости для генерации импульсного электронного пучка.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА**  
**«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,**  
**РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Т41	Девальд Елизавете Витальевне

<b>Школа</b>	Новых производственных технологий	<b>ООП</b>	Плазменно-пучковые и электроразрядные технологии
<b>Уровень образования</b>	бакалавр	<b>Направление</b>	16.03.02 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки»

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<p><i>1 Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i></p> <p><i>2 Нормы и нормативы расходования ресурсов</i></p> <p><i>3 Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.</i></p>	<p>Использование информации, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах и изданиях, нормативно-правовых документах, а именно:</p> <p>1 «Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая)» от 05.08.2000 № 147-ФЗ.</p> <p>2 ГОСТ 14.322-83. Нормирование расхода материалов. Основные положения.</p> <p>3 ГОСТ Р 51750-2001. Энергосбережение. Методика определения энергоемкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения.</p>
---	---

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<p><i>1 Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i></p> <p><i>2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i></p> <p><i>3 Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски</i></p>	<p>1 Анализ конкурентных технических решений</p> <p>2 SWOT-анализ</p> <p>1 Структура работы в рамках научного исследования</p> <p>2 Определение трудоемкости выполнения работ</p> <p>3 Разработка графика проведения научного исследования</p> <p>4 Бюджет научно-технического исследования (НИИ)</p> <p>4.1 Расчет материальных затрат НИИ</p>
--	---

	<p>4.2 Расчет амортизационных отчислений используемых основных средств при разработке взрывозмиссионного катода</p> <p>4.3 Основная заработная плата исполнителей темы</p> <p>4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы</p> <p>4.5 Общая заработная плата исполнителей темы</p> <p>4.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)</p> <p>4.7 Накладные расходы</p> <p>4.8 Формирование бюджета затрат на проектирование взрывозмиссионного катода</p>
4 <i>Определение ресурсной, финансовой, бюджетной и экономической эффективностей</i>	Проведение оценки экономической эффективности исследования
5 <i>Оценка научно-технического эффекта</i>	Определение уровня научно-технического эффекта разработанного катода

**Перечень графического материала:**

- 1 *Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений;*
- 2 *Матрица SWOT;*
- 3 *Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по исследованию катода;*
- 4 *Временные показатели проведения научного исследования;*
- 5 *Календарный план-график проведения НИОКР по исследованию разработанного катода;*
- 6 *Материальные затраты;*
- 7 *Затраты на амортизационные отчисления используемых основных средств;*
- 8 *Баланс рабочего времени исполнителей проекта;*
- 9 *Расчет затрат на заработную плату исполнителей исследования разработанного катода;*
- 10 *Отчисления во внебюджетные фонды;*
- 11 *Расчет бюджета затрат НИИ;*
- 12 *Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения разработанного катода;*
- 13 *Сравнительная эффективность разработки;*
- 14 *Величины весового коэффициента в зависимости от признака научно-технического эффекта НИОКР;*
- 15 *Количественная оценка уровня новизны;*
- 16 *Количественная оценка теоретического уровня исследования разработки;*
- 17 *Количественная оценка уровня реализации разработки;*
- 18 *Оценка уровня научно-технического эффекта.*

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	К.Э.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Девальд Елизавета Витальевна		



## **6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **6.1.1 Анализ конкурентных технических решений**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. В таблице 1 представлена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Характеристика критериев разрабатываемого объекта исследования, представленных в таблице 1:

- ресурс работы – срок эксплуатации, на который рассчитывается разрабатываемый катод, после истечения которого безопасная работа катода не гарантируется, ему требуется капитальный ремонт или замена;

- стабильность работы – верное функционирование взрывоэмиссионного катода в течение необходимого срока в заданных условиях;

- электробезопасность катода – свойство материала и конструкции катода, предотвращающее опасное воздействие электричества в течение его эксплуатации;

- пожарная и взрывная безопасность – свойства материала и конструкции катода не подвергаться самовозгоранию или взрыву в процессе эксплуатации;

- механическая прочность катода – способность материала катода сопротивляться различным внешним механическим воздействиям;

- простота изготовления – нетрудность изготовления катода;

- энергоэффективность – рациональное использование энергетических ресурсов катода;

- габаритные размеры – наружные размеры катода: длина, диаметр, высота;

- функциональная мощность – предоставляемые возможности катода по вырабатываемой мощности.

Краткая характеристика конкурентов, рассмотренных в таблице 1:

Многоострый катод ( $K_1$ ) – катод, на поверхности которого специально устраивают большое число острий. Однако, при использовании

возникает проблема его стабильности и долговечности. Помимо этого, существует возможность отказа такого катода в работе из-за уноса металла с катода, вследствие чего необходимо использовать материалы, предпочтительные с точки зрения долговечности катода.

Жидкометаллический катод ( $K_2$ ) – катод, содержащий жидкий металл (обычно ртуть) для получения стабильной взрывной эмиссии, соответственно, за счет образующихся паров ртути, токсичный. Воспроизводимость результатов опытов с данным катодом довольно надежная, кроме того, на жидкой поверхности возможно контролировать создание микронеоднородностей рядом искусственных способов.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>р</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>р</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1 Ресурс работы	0,3	5	2	3	1,5	0,6	0,9
2 Стабильность работы	0,12	5	2	3	0,6	0,24	0,36
3 Электробезопасность катода	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
4 Пожарная и взрывная безопасность	0,05	5	5	3	0,25	0,2	0,15
5 Механическая прочность катода	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
6 Простота изготовления	0,01	3	4	4	0,03	0,04	0,04
7 Энергоэффективность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
8 Габаритные размеры	0,03	3	3	4	0,09	0,09	0,12
9 Функциональная мощность	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2

(предоставляемые возможности)							
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1 Конкурентоспособность продукта	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
2 Срок выхода на рынок	0,05	3	5	5	0,15	0,25	0,25
3 Цена	0,06	3	5	5	0,18	0,3	0,3
4 Финансирование научной разработки	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>56</b>	<b>50</b>	<b>51</b>	<b>4,65</b>	<b>3,24</b>	<b>3,64</b>

Ф – разработанный катод импульсного электронного ускорителя с высоким ресурсом; К<sub>1</sub> – многоострый катод; К<sub>2</sub> – жидкометаллический катод.

Исходя из результатов, можно сделать вывод, что разрабатываемый продукт наиболее конкурентоспособен по сравнению с продуктами конкурентов, главным образом за счет таких показателей, как ресурс работы, стабильность работы и энергоэффективность, так как по данным показателям весовые коэффициенты и баллы выше, чем у конкурентов.

### **6.1.2 SWOT-анализ**

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта, его применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Было произведено описание сильных и слабых сторон разработанного катода, выявление возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Также предложены методы решения имеющихся проблем (представлены в таблице 2).

Таблица 2 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны:</b></p> <p>С1 Высокая ресурсоэффективность.</p> <p>С2 Большой срок эксплуатации разработки.</p> <p>С3 Отсутствие аналогов.</p> <p>С4 Механическая прочность разработки.</p>	<p><b>Слабые стороны:</b></p> <p>Сл1 Достоверность полученных данных разработанного катода.</p> <p>Сл2 Высокая стоимость.</p> <p>Сл3 Отсутствие финансирования.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1 Большой потенциал развития нового вида взрывоэмиссионного катода.</p> <p>В2 Возможность выхода на внешний рынок.</p> <p>В3 Повышение конкурентоспособности разработки за счет его отличительных свойств.</p> <p>В4 Появление большого спроса на разработку.</p>	<p>1 Создание партнерских отношений с возможными покупателями.</p> <p>2 Привлечение инвесторов.</p> <p>3 Использование инновационной инфраструктуры НИ ТПУ.</p> <p>4 Участие в ярмарках, конференциях для привлечения возможных покупателей.</p>	<p>1 Испытания в работе для доказательства уникальных свойств разработки.</p> <p>2 Производство различных модификаций разработанного катода с учетом требований покупателя (габариты, объем катода).</p> <p>3 Нахождение связей с потенциальными потребителями с целью последующего сотрудничества.</p> <p>4 Раскрытие потенциала разработки.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1 Отсутствие спроса на разработанный катод.</p> <p>У2 Появление конкуренции.</p> <p>У3 Задержка выхода разработки на рынок.</p>	<p>1 Совершенствование продукции.</p> <p>2 Продвижение разработки на рынке.</p>	<p>1 Разработка путей снижения затрат, связанных с производством катода.</p> <p>2 Изготовление и представление «пробного макета» разработанного катода.</p>

У4 Отсутствие потенциальных потребителей.		
---	--	--

Проведя SWOT-анализ, можно сделать вывод, что разработанный катод отличается своей уникальностью, а именно, высокой ресурсоэффективностью, механической прочностью и большим сроком эксплуатации, однако при этом имеет достаточно высокую стоимость при производстве (единичное производство). Нами предлагаются испытания в работе разработанного катода с целью доказательства его уникальных свойств и тем самым раскрытие потенциала разработки, а также продвижение катода на рынке с помощью участия в различных ярмарках и стендовых докладах для привлечения возможных инвесторов и покупателей.

## **6.2 Планирование научно-исследовательских работ**

### **6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществился в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и студент (как инженер).

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по исследованию катода

<b>Основные этапы</b>	<b>№ работ</b>	<b>Содержание работ</b>	<b>Должность исполнителя</b>
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Изучение, сбор и анализ информации по взрывоэмиссионным катодам	Инженер
	3	Подбор направления исследования	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме исследования	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Обоснование теоретического расчета катода	Инженер
	6	Выбор методики проведения эксперимента	Руководитель
	7	Оценка технологических параметров разрабатываемого катода	Инженер
	8	Оценка экономической эффективности разработки	Руководитель
	9	Проектирование катода с требуемыми технологическими параметрами	Руководитель, инженер
	10	Освоение измерительного оборудования и программных сред	Инженер
	11	Проведение экспериментов с разработанным катодом	Инженер
	12	Подтверждение работоспособности катода	Инженер
	13	Проведение расчетов и анализ полученных данных	Инженер

Обобщение и оценка результатов	14	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
	15	Определение целесообразности проведения исследований	Руководитель, инженер
Сдача выпускной квалификационной работы	16	Защита ВКР	Инженер

## 6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях. Для определения ожидаемого значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{ожі} + 2t_{maxі}}{5},$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{maxі}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.



$$T_{pi} = t_{ожi} / \text{Ч}_i,$$

где  $T_{pp}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$\text{Ч}_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 6.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Согласно диаграмме Ганта, можно представить протяженные по времени работы по исследованию разработанного катода от начала и до окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал.}};$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал.}}$  – коэффициент календарности. Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал.}} = T_{\text{кал.}} / (T_{\text{кал.}} - T_{\text{вых.}} - T_{\text{пр.}}) = 365 / (365 - 118) = 1,477;$$

где  $T_{\text{кал.}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых.}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр.}}$  – количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Временные показатели проведения научного исследования

№работ	Исполнители		Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$	
	Руководитель (РК)	Инженер (И)	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
1	1	0	1	0	2	0
2	0	1	0	7	0	10
3	0	1	0	3	0	5
4	1	1	0,5	2	1	3
5	0	1	0	6	0	9
6	1	0	0,5	0	1	0
7	0	1	0	8	0	12
8	1	0	0,5	0	1	0
9	1	1	1,5	15	2	22
10	0	1	0	4	0	6
11	0	1	0	41	0	61
12	0	1	0	2	0	3
13	0	1	0	12	0	18
14	1	1	0,5	3	1	5
15	1	1	0,5	3	1	5
16	0	1	0	1	0	2
Итого	7	13	5	107	9	161

Таблица 5 – Календарный план-график поведения НИОКР по исследованию разработанного катода

№ работ	Вид работ	Исполнитель	Длительность	Продолжительность выполнения работ															
				февраль			март			апрель			май			июнь			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление и утверждение технического задания	РК	1	1															
2	Изучение, сбор и анализ информации по взрывоэмиссионным катодам	И	7	1															
3	Подбор направления исследования	И	3	1															
4	Календарное планирование работ по теме исследования	РК, И	1, 2	1	2														
5	Обоснование теоретического расчета катода	И	0, 6																
6	Выбор методики проведения эксперимента	РК	1		1														
7	Оценка технологических параметров разрабатываемого катода	И	8																
8	Оценка экономической эффективности разработки	РК	1			1													
9	Проектирование катода с требуемыми технологическими параметрами	РК, И	2, 15			1	2												
10	Освоение измерительного оборудования и программных сред	И	4				1												
11	Проведение экспериментов с разработанным катодом	И	41					1	2	3									
12	Подтверждение работоспособности катода	И	2										1						
13	Проведение расчетов и анализ полученных данных	И	12																
14	Оценка эффективности полученных результатов	РК, И	1, 3															1	3
15	Определение целесообразности проведения исследований	РК, И	1, 3																1
16	Защита ВКР	И	1																1

 - руководитель;  - студент

## **6.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)**

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

### **6.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ**

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке катода:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукта;
- покупные материалы, используемые в процессе создания катода для обеспечения нормального технологического процесса;
- покупные комплектующие изделия, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия, используемые в качестве объекта испытания и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта объекта испытания.

Расчет материальных затрат осуществляется с помощью следующей формулы:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх } i};$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх } i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Все проделанные расчеты по материальным затратам представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы ( $Z_M$ ), руб.
Весы лабораторные CAS MWP-3000	шт	1	14945	17934
Дистиллированная вода	л	3	50	180

Нержавеющая сталь 12X18H10T	кг	21	530	13356
Итого				31470

#### 6.2.4.2 Расчет затрат на амортизационные отчисления используемых основных средств при разработке катода с высоким ресурсом

Для вычисления амортизационных отчислений необходимо использовать следующую формулу:

$$A_{\text{отчисл.}} = \left( \frac{C_{\text{п}} \cdot N_{\text{а}}}{T_{\text{кал.}} - T_{\text{вых.}} - T_{\text{пр.}}} \right) \cdot N_{\text{дн.}};$$

где  $C_{\text{п}}$  – стоимость основного фонда за одну единицу, руб.;

$N_{\text{а}}$  – норма амортизации, %;

$N_{\text{дн.}}$  – количество дней, в течении которых использовались основные средства, раб. дн.

Все произведенные вычисления приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Затраты на амортизационные отчисления используемых основных средств

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Норма амортизации ( $N_{\text{а}}$ ), %	$N_{\text{дн.}}$ , раб. дн	Амортизационные отчисления, руб.
Оциллограф Tektronix TDS 2024 C	шт	1	225000	13,4	41	5004,65
Тепловизор Fluke TiR10	шт	1	185300	12,9	20	1935,52
Ускорительный комплекс «Астра-М»	шт	1	5000000	24,3	41	201680,2

Итого	208620,4
-------	----------

### 6.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В таблице 8 представлен баланс рабочего времени исполнителей проекта.

Таблица 8 – Баланс рабочего времени исполнителей проекта

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни; - праздничные дни	118	148
Потери рабочего времени - отпуск; - невыходы по болезни	48	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	193

Месячный должностной оклад исполнителя темы:

$$Z_M = Z_{\text{окл.}} \cdot k_p;$$

где  $Z_{\text{окл.}}$  – заработная плата по окладу, руб.;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{\text{окл.}}$ );

- для руководителя:  $Z_M = 26300 \cdot 1,3 = 34190$  руб.;

- для инженера:  $Z_M = 9489 \cdot 1,3 = 12335,7$  руб.

Среднедневная заработная плата исполнителей темы:

$$Z_{\text{дн}} = Z_{\text{м}} \cdot M / F_{\text{д}} ;$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад исполнителя темы, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года (для руководителя  $M=11,2$  (6-дневная неделя); для инженера  $M=10,4$  (5-дневная неделя));

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей темы, раб. дн. (приведено в таблице выше);

- для руководителя:  $Z_{\text{дн}} = 34190 \cdot 10,4 / 199 = 1786,814$  руб.;

- для инженера:  $Z_{\text{дн}} = 12335,7 \cdot 11,2 / 193 = 715,855$  руб.

Основная заработная плата исполнителей темы:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} ;$$

где  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата исполнителей темы, руб.;

$T_{\text{р}}$  – продолжительность работ, выполняемых исполнителем темы, раб. дн.;

- для руководителя:  $Z_{\text{осн}} = 1786,814 \cdot 5 = 8934,07$  руб.;

- для инженера:  $Z_{\text{осн}} = 715,855 \cdot 107 = 76596,39$  руб.

Все рассчитанные значения представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет основной заработной платы исполнителей исследования разработанного катода

Исполнитель	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{окл.}}$ , руб.	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	0,3	26300	34190	1786,814	5	8934,07
Инженер		9489	12335,7	715,855	107	76596,39



	Итого	85530,46
--	-------	----------

#### **6.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы**

Дополнительная заработная плата исполнителей темы считается по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}};$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (принято равным 0,12);

- для руководителя:  $З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 8934,07 = 1072,088$  руб.;

- для инженера:  $З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 76596,39 = 9191,567$  руб.

#### **6.2.4.5 Общая заработная плата исполнителей темы**

Общая заработная плата исполнителей темы высчитывается согласно следующей формуле:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}};$$

где  $З_{\text{осн}}$  – основная заработная плата исполнителей темы, руб.;

$З_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата исполнителей темы, руб.;

- для руководителя:  $З_{\text{зп}} = 8934,07 + 1072,088 = 10006,158$  руб.;

- для инженера:  $З_{\text{зп}} = 76596,39 + 9191,567 = 85787,957$  руб.

Общая заработная плата всех исполнителей темы:

$$З_{\text{зп}} = 10006,158 + 85787,957 = 95794,115 \text{ руб.}$$

#### **6.2.4.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)**

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб.}} = k_{\text{внеб.}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}});$$

где  $k_{\text{внеб.}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (принимается равным 0,271);

$$З_{\text{внеб.}} = 0,271 \cdot (8934,07 + 1072,088) = 2711,668 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{внеб.}} = 0,271 \cdot (76596,39 + 9191,567) = 23248,536 \text{ руб.}$$

Все рассчитанные значения приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	Отчисление во внебюджетные фонды, руб.
Руководитель	8934,07	1072,088	0,271	2711,668
Инженер	76596,39	9191,567		23248,536
Итого				25960,204

#### 6.2.4.7 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и

телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл.}} = (\text{сумма пунктов 2.4.1-2.4.4, 2.4.6}) \cdot k_{\text{нр}};$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы (принимается равным 0,16).

$$Z_{\text{накл.}} = (31470 + 208620,4 + 85530,46 + (1072,088 + 9191,567) + 25960,204) \cdot 0,16 =$$

$$Z_{\text{накл.}} = 57895,16 \text{ руб.}$$

#### **6.2.4.8 Формирование бюджета затрат на проектирование катода с высоким ресурсом**

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат НТИ

<b>Наименование статьи</b>	<b>Сумма, руб.</b>	<b>Примечание</b>
1. Материальные затраты НТИ	31470	Пункт 2.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных работ	208620,4	Пункт 2.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	85530,46	Пункт 2.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10263,66	Пункт 2.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	25960,2	Пункт 2.4.6

6. Накладные расходы	57895,16	16% от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	419739,9	Сумма ст.1-6

### 6.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Для этого необходимо определить две средневзвешенные величины: финансовую эффективность и ресурсоэффективность.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп. } i} = \Phi_{\text{р } i} / \Phi_{\text{max}} ;$$

где  $I_{\text{фин.р}}^{\text{исп. } i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{\text{р } i}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.1}} = 1;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.2}} = 0,86;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.3}} = 0,8.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования определяется согласно следующей формуле:

$$I_{\text{р } i} = \sum a_i \cdot b_i ;$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Произведенные расчеты представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения взрывоэмиссионного катода

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Ресурс работы	0,3	5	2	3
2. Стабильность работы	0,25	5	2	3
3. Энергоэффективность	0,2	5	4	4
4. Простота изготовления	0,15	3	4	4
5. Электробезопасность катода	0,1	5	5	5
ИТОГО	1	23	17	19

$$I_{p-исп.1} = 0,3 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 = 4,7;$$

$$I_{p-исп.2} = 0,3 \cdot 2 + 0,25 \cdot 2 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 3;$$

$$I_{p-исп.3} = 0,3 \cdot 2 + 0,25 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 3,25.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{фин.р}}; I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп.2}}{I_{фин.р}} \text{ и т.д.}$$

$$I_{\text{исп. 1}} = 4,7 / 1 = 4,7;$$

$$I_{\text{исп. 2}} = 3 / 0,86 = 3,48;$$

$$I_{\text{исп. 3}} = 3,25 / 0,8 = 4,06.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = I_{\text{исп.1}} / I_{\text{исп.2}}.$$

Все рассчитанные значения представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Сравнительная эффективность разработки

№п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,86	0,8
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	3	3,25
3	Интегральный показатель эффективности	4,7	3,48	4,06
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,35	1,15

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о целесообразности разработанного катода высоким ресурсом с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Аналоги 1 и 2 являются более ресурсозатратными по сравнению с разработкой. Достоинство разработки заключается в ресурсоэффективности и стабильности работы.

#### 6.4 Оценка научно-технического эффекта

Социально-научный эффект проявляется в росте числа открытий, изобретений, увеличении суммарного объема научно-технической информации, полученной в результате выполнения НИОКР, создании научного «задела», являющегося необходимой предпосылкой для проведения в будущем прикладных НИОКР и выполнения работ по модернизации конструкций выпускаемых изделий.

Для проведения количественной оценки социально-научного эффекта необходимо на основе признаков работы определить коэффициент научно-технического эффекта НИОКР по следующей формуле:

$$H_T = \sum_{i=1}^3 r_i \cdot k_i;$$

где  $r_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го признака;

$k_i$  – количественная характеристика  $i$ -го признака.

В таблице 14 представлены весовые коэффициенты в зависимости от признака научно-технического эффекта НИОКР.

Таблица 14 – Величины весового коэффициента в зависимости от признака научно-технического эффекта НИОКР

Признак научно-технического эффекта НИОКР (i)	Примерные значения весового коэффициента (r)
Уровень новизны	0,6
Теоретический уровень	0,4
Возможности реализации	0,2

Количественная оценка уровня новизны НИОКР определяется на основе значения баллов по таблице 15.

Таблица 15 – Количественная оценка уровня новизны разработки

<b>Уровень новизны разработки</b>	<b>Характеристика уровня новизны</b>	<b>Баллы</b>
Принципиально новая	Результаты исследований открывают новое направление в данной области науки и техники	8-10
Относительно новая	По-новому или впервые объяснены известные факты, закономерности	5-7
Новая	Результаты исследований систематизируют и обобщают имеющиеся сведения, определяют пути дальнейших исследований	2-4
Традиционная	Работа, выполненная по традиционной методике, результаты исследований носят информационный характер	1
Не обладающая новизной	Получен результат, который был ранее известен	0

Теоретический уровень полученных результатов НИОКР определяется на основе значения баллов, представленных в таблице 16.

Таблица 16 – Количественная оценка теоретического уровня исследования разработки

<b>Теоретический уровень полученных результатов</b>	<b>Баллы</b>
Установление закона, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблемы: многоаспектный анализ связей, взаимозависимости между фактами с наличием объяснений	8
Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство и т.п.)	6
Элементарный анализ связей между фактами с наличием гипотезы, симплексного прогноза, классификации, объясняющей версии или практических рекомендаций частного характера	2
Описание отдельных элементарных фактов (вещей, свойств и отношений); изложение опыта, наблюдений, результатов измерений	0,5



Возможность реализации научных результатов определяется на основе значения баллов, представленных в таблице 17.

Таблица 17 – Количественная оценка уровня реализации разработки

<b>Время реализации</b>	<b>Баллы</b>
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Более 10 лет	2
<b>Масштабы реализации</b>	<b>Баллы</b>
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль (министерство)	4
Народное хозяйство	10
Примечание: Баллы по времени и масштабам реализации складываются.	

Расчет следующих признаков научно-технического эффекта НИОКР:

- уровня новизны:

$r_1$  – весовой коэффициент уровня новизны, принимаю, что  $r_1=0,6$ ;

$k_1$  – количественная характеристика уровня новизны,  $k_1=7$  (таблица 15);

- теоретического уровня:

$r_2$  – весовой коэффициент теоретического уровня, принимаю, что  $r_2=0,4$ ;

$k_2$  – количественная характеристика теоретического уровня,  $k_2=8$  (таблица 16);

- возможности реализации:

$r_3$  – весовой коэффициент возможности реализации, принимаю, что  $r_3=0,2$ ;

$k_3$  – количественная характеристика возможности реализации,  $k_3=14$  (таблица 17).

Исходя из полученных коэффициентов и количественных характеристик, определила коэффициент научно-технического эффекта:

$$H_T=r_1 \cdot k_1+r_2 \cdot k_2+r_3 \cdot k_3=0,6 \cdot 7+0,4 \cdot 8+0,2 \cdot 14=10,2.$$

Таблица 18 – Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень научно-технического эффекта	Коэффициент научно-технического эффекта
Низкий	1-4
Средний	5-7
Сравнительно высокий	8-10
Высокий	11-14

При коэффициенте научно-технического эффекта  $H_T=10,2$  (по таблице 18) уровень научно-технического эффекта разработанного катода является сравнительно высоким.

### **Вывод**

В данной главе был проведен технико-экономический анализ исследования разработанного катода импульсного электронного ускорителя с высоким ресурсом.

Проведя анализ конкурентных технических решений, нами были сделаны выводы, что разработанный катод конкурентоспособен за счет своих уникальных свойств, таких как: высокий ресурс работы, стабильность работы и ресурсоэффективность. В представленной матрице SWOT приведены сильные и слабые стороны, возможности и угрозы разработанного катода, также были предложены стратегические решения для имеющихся проблем. Исходя из анализа, можно сделать вывод, что реализация разработки

оправдана, однако есть реальные угрозы, среди которых отсутствие потенциальных потребителей и появление конкуренции.

Далее был составлен план исследования, согласно которому длительность работ в рабочих днях для руководителя составила 5 дней, а для инженера – 107. Так же был рассчитан бюджет научно-технического исследования на разработку катода, который составил 419739,9 руб.

По оценке ресурсной и финансовой эффективности, можно сделать вывод, что стоимость проведения экспериментов выше, чем у аналогов, однако разработка является более ресурсоэффективной. Была произведена оценка научно-технического эффекта, согласно которой разработка взрывоэмиссионного катода с высоким ресурсом является актуальной и важной задачей за счет того, что уровень научно-технического эффекта сравнительно высокий.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Т41	Девальд Елизавете Витальевне

<b>Школа</b>	Новых производственных технологий	<b>ООП</b>	Плазменно-пучковые и электроразрядные технологии
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление</b>	16.03.02 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1 Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.</p>	<p>1 <b>Объект исследования</b> – катод импульсного электронного ускорителя с высоким ресурсом; 2 <b>Метод исследования</b> – экспериментальный метод исследования на импульсном электронном ускорителе «АСТРА-М»; 3 <b>Рабочая зона</b> – научно-исследовательская лаборатория «Импульсно-пучковых и плазменных технологий»; 4 <b>Область применения</b> – радиационные технологии, стерилизация, научные исследования.</p>
---	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1 Производственная безопасность</b> 1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).</li> </ul>	<p>1.2 Вредные производственные факторы: 1.2.1 Микроклимат Требуемая температура в помещении – (21–23)°С, относительная влажность воздуха – (40–60)%, скорость движения воздуха должна не превышать 0,1 м/с (по СанПин 2.2.4.548-96). Температура воздуха в рабочей зоне составляет 21°С, относительная влажность воздуха – 50%, скорость движения воздуха не превышает 0,1 м/с. Такие показатели обеспечиваются использованием радиаторов и искусственной вентиляции. 1.2.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте Уровень шума в рабочей зоне составляет около 75 дБА, однако предельно допустимый уровень шума и звукового давления для данного типа помещения составляет 60 дБА (по СН 2.2.4/2.1.8.562-96). Предусмотрены меры по снижению риска, связанного с воздействием шума на работников: применение индивидуального средства защита – наушников, дистанционное управление установкой за закрытой дверью, проведение периодического контроля шума на рабочих местах. 1.2.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений В лаборатории достигаются следующие энергетические экспозиции в диапазоне частот (0,03–3) МГц: - <math>\dot{E}_E=5200 \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч}</math> (по ПДУ <math>\dot{E}_E=20000 \text{ (В/м)}^2 \cdot \text{ч}</math>);</p>
--	--

	<p>- <math>\dot{E}H_n=300 \text{ (A/m)}^2 \cdot \text{ч}</math> (по ПДУ <math>\dot{E}H_n=200 \text{ (A/m)}^2 \cdot \text{ч}</math>) (значения ПДУ для энергетических экспозиций взяты из СанПин 2.2.4.3359-16).</p> <p>Во время проведения экспериментов работник находится на достаточном расстоянии от источника ЭМП в экранированной операторской кабине.</p> <p>1.2.4 Повышенная напряженность магнитного поля ПДУ для напряженности магнитного поля для режима генерации I не должно превышать 6000 А/м (СанПин 2.2.4.3359-16). В лаборатории данное значение превышает.</p> <p>Помещение с ускорителем закрывается, само помещение выполнено с использованием стальной прошивки в стенах, что снижает значение напряженности магнитного поля до допустимого. Работник на время экспериментов находится в экранированной операторской кабине.</p> <p>1.2.5 Повышенная напряженность электрического поля Напряженность электрического поля составляет более 20 В/м.</p> <p>Меры по предотвращению влияния такой напряженности электрического поля на работника, используются такие же, как для магнитных полей в рассмотренном п.1.2.4.</p> <p>1.2.6 Недостаточная освещенность рабочей зоны Средняя освещенность в рабочей зоне составляет 400 лк, что превышает согласно ГОСТ Р 55710-2013 значение в 200 лк.</p> <p>Такое значение освещенности достигается использованием искусственного освещения.</p> <p>1.3 Опасные производственные факторы:</p> <p>1.3.1 Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне Нормы годовой эффективной дозы облучения регламентируются на основе НРБ-99/2009, согласно которому эффективная доза облучения не должна превышать для персонала 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год; а для населения не более 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год.</p> <p>Доза радиации во время проведения экспериментальных исследований в рабочей зоне не превышает 6 мкЗв в час (120 мЗв в год при 1700 рабочих часах).</p> <p>Управление работой электронного ускорителя осуществляется из экранированной операторской кабины, в которой доза радиации не превышает 1 мЗв в час.</p> <p>1.3.2 Повышенные значения напряжения и тока Электрический ток может достигать значений до 25 кА, а напряжение до 400 кВ.</p> <p>К средствам защиты от поражения электрическим током (по ГОСТ 12.4.011-89) относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- изолирующие устройства и покрытия;</li> <li>- устройства защитного заземления и зануления;</li> <li>- устройства выравнивания потенциалов;</li> <li>- устройства дистанционного управления;</li> <li>- устройства автоматического отключения;</li> <li>- предохранительные устройства.</li> </ul>
<p><b>2 Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны;</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> </ul>	<p>2.1 Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы) Выделение озона – 0,06 мг/куб.м., окисел азота – 2,8 мг/куб.м. Продукты радиолиты воздуха образуются в основном лишь в зоне пучка ускоренных электронов, потом эти продукты распространяются в объеме камеры. Концентрация озона и окислов азота рассчитывается</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>согласно СанПиН 2.6.1.2573-10 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ». Согласно данному документу, ПДК выделения озона не должна превышать 1 мг/куб.м., окислов азота – 5 мг/куб.м.</p> <p>2.2 Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы) и литосферу (отходы)</p> <p>При работе ускорителя не происходит сбросов в гидросферу или воздействия отходов на литосферу, так как никаких опасных веществ при проведении экспериментов не используются.</p>
<p><b>3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>3.1 Перечень возможных ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- возгорание оборудования;</li> <li>- короткое замыкание электрической цепи, связанное с неисправностью оборудования.</li> </ul> <p>В качестве типичной ситуации рассматривается пожар.</p> <p>3.2 Превентивные меры по предупреждению возгораний:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- следить за состоянием электрической проводки;</li> <li>- не оставлять без присмотра включенные электронагревательные приборы (паяльник);</li> <li>- не пользоваться без навыков горючими и легковоспламеняющимися жидкостями (ацетон, бензин).</li> </ul> <p>3.3 Действия при возникновении ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- при возгорании в срочном порядке необходимо сообщить о пожаре по телефону 101;</li> <li>- дать сигнал тревоги, принять меры по эвакуации людей.</li> </ul> <p>В срочном порядке покинуть помещение. При возможности приступить к устранению пожара с помощью имеющихся средств пожаротушения.</p>
<p><b>4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Правовые и организационные вопросы изложены в документе СанПиН 2.6.1.2573-10 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ». Основные положения и требования регламентируются данным документом.</p>
<p><b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b></p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения контроля и диагностики	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.б.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Девальд Елизавета Витальевна		

## 7 Социальная ответственность

### 7.1 Производственная безопасность

Согласно ГОСТ Р ИСО 26000-2012 «Руководство по социальной ответственности», охрана труда на рабочем месте касается обеспечения и поддержания самого высокого уровня физического, психического и социального благополучия трудящихся, предотвращения [причинения] вреда здоровью, вызванного условиями труда. Она также относится к защите трудящихся от рисков здоровью и адаптации производственной среды к физиологическим и психологическим нуждам трудящихся.

Общество несет тяжелое финансовое и социальное бремя, связанное с профессиональными заболеваниями, травматизмом и смертностью на производстве. Аварийные и хронические загрязнения и другие факторы риска, связанные с местом работы, которые наносят вред трудящимся, могут также оказывать воздействие на местные сообщества и окружающую среду. Озабоченность [вопросами] охраны труда возникает при использовании опасного оборудования, процессов, практик и веществ (химических, физических и биологических).

Эффективная программа по охране труда зависит от участия трудящихся. Совместные комитеты руководства и работников по охране труда и обеспечению безопасности могут быть существенной частью программы организации по охране труда. Совместные комитеты могут:

- собирать информацию;
- разрабатывать и распространять руководства по безопасности труда и обучающие программы;
- информировать о произошедших несчастных случаях, документировать и расследовать их;

- проверять и реагировать на проблемы, поднятые трудящимися или руководством.

### **7.1.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

В процессе трудовой деятельности работник может подвергаться профессиональному риску, то есть существует вероятность повреждения здоровья или утраты трудоспособности либо смерти работающего в результате воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов. Для предотвращения возможного производственного травматизма и профессиональных заболеваний необходимо в рабочей зоне обеспечить безопасные условия труда, а именно, такие условия труда, при которых исключено воздействие на работающего вредных и (или) опасных производственных факторов либо уровни их воздействия не будут превышать установленных нормативов. Соответственно, главными задачами при обеспечении безопасных условий труда будут идентификация опасности (установление наличия опасности и определение ее характеристик) и предотвращение влияния на работающего выявленных вредных и опасных производственных факторов.

При выполнении выпускной квалификационной работы и на основе ГОСТ 12.0.003-74 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», были выявлены физически вредные и опасные производственные факторы в рабочей зоне компактного импульсного ускорителя электронов с высоким ресурсом, которые представлены в таблице 19.



Таблица 19 – Вредные и опасные производственные факторы

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
	1 Микроклимат; 2 Повышенный уровень шума на рабочем месте; 3 Повышенный уровень электромагнитных излучений; 4 Повышенная напряженность магнитного поля; 5 Повышенная напряженность электрического поля; 6 Недостаточная освещенность рабочей зоны.	1 Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне; 2 Повышенные значения напряжения и тока.	

### 7.1.2 Анализ вредных производственных факторов

Согласно ГОСТ 12.0.002-88 «ССБТ. Термины и определения», вредный производственный фактор – фактор производственной среды и (или) трудового процесса, воздействие которого в определенных условиях на организм работающего может сразу или впоследствии привести к заболеванию, в том числе смертельному, или отразиться на здоровье потомства пострадавшего, или в отдельных специфичных случаях перехода в опасный производственный фактор – вызвать травму.

В безопасности труда применяется концепция порогового воздействия, согласно которой вредный производственный фактор (исключая ионизирующие излучения) неблагоприятно воздействует на организм человека только при превышении интенсивности своего воздействия (и/или полученной дозы) выше некоторого порогового допустимого значения. Последствия этого воздействия могут проявиться сразу (острое заболевание)

или спустя какое-то (иногда длительное – годы) время (хроническое заболевание).

### **7.1.2.1 Микроклимат**

Микроклимат производственных помещений определяется совокупным воздействием на организм человека температуры, влажности, скорости движения воздуха, теплового излучения нагретых поверхностей. Микроклимат различных производственных помещений зависит от колебаний внешних метеорологических условий, времени дня, года, особенностей производственного процесса и систем отопления и вентиляции.

СанПин 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» предназначен для предотвращения неблагоприятного воздействия микроклимата рабочих мест, производственных помещений на самочувствие, функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека.

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

В таблице 20 приведены оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах.

Таблица 20 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
	Iб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
	IIa (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	IIб (233-290)	17-19	16-20	60-40	0,2
	III (более 290)	16-18	15-19	60-40	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1
	Iб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1
	IIa (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2
	IIб (233-290)	19-21	18-22	60-40	0,2
	III (более 290)	18-20	17-21	60-40	0,3

В научно-исследовательской лаборатории «ИП и ТП» температура воздуха составляет 21°С, относительная влажность – 50%; скорость движения воздуха не превышает 0,1 м/с, однако для обеспечения таких показателей применяются радиаторы и искусственная вентиляция.

### 7.1.2.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности», шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты.

Нормирование шума на рабочем месте заключается в установлении для выбранного показателя такого предельного значения, чтобы в ситуациях, когда значения показателя ниже предельного, риск профессионального заболевания был приемлемым, но, с учетом индивидуальной восприимчивости шума, не нулевым (ГОСТ 12.1.003-2014).

Согласно СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» предельно допустимые уровни (ПДУ) звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для измерительных и аналитических работ в кабинете представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест

№ п/п	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории; рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60

Исходя из таблицы 21, уровень шума и звукового давления на рабочем месте не должен превышать 60 дБА, но на рабочем месте в лаборатории уровень шума составляет около 75 дБА. Соответственно, предусмотрены следующие меры по снижению риска, связанного с воздействием шума на работников:

- применение индивидуального средства защиты – наушников;
- дистанционное управление установкой за закрытой дверью, что снижает уровень шума до допустимых значений;
- проведение периодического контроля шума на рабочих местах и организация на основе полученных результатов режима труда, способствующего снижению шумовой нагрузки на работника, а также контроль за его соблюдением.

### **7.1.2.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений**

Проявления влияния электромагнитного излучения на организм человека могут выражаться в следующем:

- генная мутация, за счет которой возрастает вероятность возникновения онкологических заболеваний;
- нарушения нормальной электрофизиологии человеческого организма, что вызывает головные боли, бессонницу, тахикардию;
- повреждения глаз, вызывающие различные офтальмологические заболевания, в тяжелых случаях – вплоть до полной потери сознания;
- видоизменение сигналов, подаваемых гормонами околощитовидных желез на мембранах клеток, торможение костного материала у детей;
- накопительный эффект, который возникает при многократном вредоносном воздействии излучения, в конечном счете, приводит к необратимым негативным изменениям.

В СанПин 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» приведены предельно допустимые уровни энергетических экспозиций электромагнитного поля, представленные в таблице 22.

Таблица 22 – ПДУ энергетических экспозиций ЭМП диапазона частот 30 кГц – 300 ГГц

Параметр	ЭЭ <sub>ПДУ</sub> в диапазонах частот, МГц				
	≥0,03-3,0	≥3,0-30,0	≥30,0-50,0	≥50,0-300,0	≥300,0-300000,0
ЭЭ <sub>Е</sub> , (В/м) <sup>2</sup> ·ч	20000	7000	800	800	-
ЭЭ <sub>Н</sub> , (А/м) <sup>2</sup> ·ч	200	-	0,72	-	-
ЭЭ <sub>Е</sub> , (мкВт/см <sup>2</sup> )·ч	-	-	-	-	200

где ЭЭ<sub>Е</sub> – энергетическая экспозиция для напряженности электрического поля;

ЭЭ<sub>Н</sub> – энергетическая экспозиция для напряженности магнитного поля.

В лаборатории достигаются следующие энергетические экспозиции в диапазоне частот 0,03-3 МГц:

- ЭЭ<sub>Е</sub>=5200 (В/м)<sup>2</sup>·ч (по ПДУ ЭЭ<sub>Е</sub>=20000 (В/м)<sup>2</sup>·ч);

- ЭЭ<sub>Н</sub>=300 (А/м)<sup>2</sup>·ч (по ПДУ ЭЭ<sub>Н</sub>=200 (А/м)<sup>2</sup>·ч).

Соответственно, для исключения влияния сильных электромагнитных полей, во время проведения экспериментов работник находится на достаточном расстоянии от источника ЭМП в экранированной операторской кабине.

#### 7.1.2.4 Повышенная напряженность магнитного поля

В СанПин 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» представлены нормируемые показатели и параметры для магнитных полей. Для условий воздействия импульсных магнитных полей 50 Гц предельно допустимые уровни амплитудного значения напряженности поля (Н<sub>ПДУ</sub>) дифференцированы в зависимости от общей продолжительности воздействия за рабочую смену (Т)

и характеристик импульсных режимов генерации. В связи с чем, ПДУ импульсных магнитных полей 50 Гц приведены в таблице 23.

Таблица 23 – ПДУ воздействия импульсных МП частотой 50 Гц в зависимости от режима генерации

T, ч	H <sub>ПДУ</sub> , [А/м]		
	Режим I $\tau_{и} \geq 0,02 \text{ с}; \tau_{п} \leq 2 \text{ с}$	Режим II $60 \text{ с} \geq \tau_{и} \geq 1 \text{ с}; \tau_{п} > 2 \text{ с}$	Режим III $0,02 \text{ с} \geq \tau_{и} \geq 1 \text{ с}; \tau_{п} > 2 \text{ с}$
≤1,0	6000	8000	10000
≤1,5	5000	7500	9500
≤2,0	4900	6900	8900
≤2,5	4500	6500	8500
≤3,0	4000	6000	8000
≤3,5	3600	5600	7600
≤4,0	3200	5200	7200
≤4,5	2900	4900	6900
≤5,0	2500	4500	6500
≤5,5	2300	4300	6300
≤6,0	2000	4000	6000
≤6,5	1800	3800	5800
≤7,0	1600	3600	5600
≤7,5	1500	3500	5500
≤8,0	1400	3400	5400

где  $\tau_{и}$  – длительность импульса, с;

$\tau_{п}$  – длительность паузы между импульсами, с.

При проведении экспериментов превышаются допустимые значения для напряженности магнитного поля (для режима генерации I, соответственно,  $H > 6000 \text{ А/м}$ ). Воздействие магнитного поля не оказывает влияния на

работника из-за того, что во время проведения экспериментов помещение с ускорителем закрывается, также помещение выполнено из стальной прошивки в стенах, что снижает значение магнитного поля до допустимого. И, как и в п.1.2.4, работник на время экспериментов находится в экранированной операторской кабине.

#### **7.1.2.5 Повышенная напряженность электрического поля**

Электрическое поле оказывает влияние на центральную нервную систему человека, вызывая снижение его работоспособности: повышаются частота пульса, кровяное давление, температура тела, к концу рабочего дня человек становится вялым, сонливым, быстро устает. Все эти отклонения – нестойкие, после отдыха они обычно исчезают. Поэтому для предупреждения негативного влияния электрического поля на организм человека необходимо применять нормы и стандарты, благодаря которым можно оценить напряженность электрического поля в рабочей зоне, и, в случае превышения установленных норм применить средства защиты.

Используя ГОСТ 12.1.002-84 «ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах», можно определить допустимый уровень напряженности электрического поля в рабочей зоне. Существуют следующие допустимые уровни напряженности электрических полей (ЭП):

- предельно допустимый уровень напряженности воздействующего ЭП устанавливается равным 25 кВ/м;
- пребывание в ЭП напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается;
- пребывание в ЭП напряженностью до 5 кВ/м включительно допускается в течение рабочего дня;



- при напряженности ЭП свыше 20 до 25 кВ/м время пребывания персонала в ЭП не должно превышать 10 мин;

- допустимое время пребывания в ЭП напряженностью свыше 5 до 20 кВ/м включительно вычисляются по формуле:

$$T = 50 / E^{-2},$$

где T – допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч;

E – напряженность воздействующего ЭП в контролируемой зоне, кВ/м;

- допустимое время пребывания в ЭП может быть реализовано однократно или дробно в течение рабочего дня. В остальное рабочее время напряженность ЭП не должна превышать 5 кВ/м.

При проведении экспериментов превышаются допустимые значения для напряженности электрического поля ( $E > 20$  В/м). Меры по предотвращению влияния такой напряженности электрического поля применяются как в рассмотренном выше п.2.4.

#### **7.1.2.6 Недостаточная освещенность рабочей зоны**

Нормы освещения рабочих мест, установленные в ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений», обеспечивают безопасные и комфортные условия труда. Согласно данному национальному стандарту, средняя освещенность на рабочих местах с постоянным пребыванием людей должна быть не менее 200 лк.

В научно-исследовательской лаборатории средняя освещенность составляет 400 лк, однако такая освещенность достигается применением искусственного освещения.

#### **7.1.3 Анализ опасных производственных факторов**

Согласно ГОСТ 12.0.002-88 «ССБТ. Термины и определения», опасный производственный фактор – фактор производственной среды и (или) трудового процесса, воздействие которого в определенных условиях на организм работающего может привести к травме, в том числе смертельной.

К источникам повышенной опасности относят деятельность субъектов права, создающая повышенную опасность для окружающих и/или объект материального мира, обладающий опасными для окружающих свойствами, не поддающиеся полному контролю.

### **7.1.3.1 Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне**

В процессе работы ускорителя электронов происходит испускание рентгеновского излучения, нормы которого регламентируются на основе НРБ-99/2009 «Нормы радиационной безопасности».

Последствия воздействия ионизирующего излучения зависят от полученной дозы радиации, состояния здоровья человека и длительности воздействия. Для ионизирующего излучения нет барьеров в организме, поэтому любая молекула может подвергнуться радиоактивному воздействию, последствия которого могут быть самыми разнообразными. Возбуждение отдельных атомов может привести к перерождению одних веществ в другие, вызвать биохимические сдвиги, генетические нарушения и т.п. Пораженными могут оказаться белки или жиры, жизненно необходимые для нормальной клеточной деятельности. Таким образом, радиация воздействует на организм на микроуровне, вызывая повреждения, которые заметны не сразу, а проявляют себя через долгие годы. Поражение отдельных групп белков, находящихся в клетке, может вызвать рак, а также генетические мутации, передающиеся через несколько поколений. Воздействие малых доз облучения обнаружить очень сложно, ведь эффект от этого проявляется через десятки лет. Соответственно, необходимо соблюдать нормы радиационной

безопасности, которые применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения.

Для определения воздействующего на организм человека ионизирующего излучения необходимо знать величины годовой эффективной дозы для разных групп населения. Под годовой эффективной дозой понимается сумма эффективной дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год.

Годовая эффективная доза облучения персонала за счет нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения не должна превышать пределов доз, представленных в таблице 24.

Таблица 24 – Основные пределы доз

Нормируемые величины*	Пределы доз	
	Персонал (группа А)**	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в хрусталике	150 мЗв	15 мЗв
глаза***		
коже****	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв
Примечания:		
* - Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.		
** - Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни воздействия персонала группы Б, равны ¼ значений для персонала группы А.		
*** - Относится к дозе на глубине 300 мг/см <sup>2</sup> .		
**** - Относится к среднему по площади 1 см <sup>2</sup> значению в базальном слое кожи толщиной 5 мг/см <sup>2</sup> под покровным слоем толщиной 5 мг/см <sup>2</sup> . На ладонях толщина		

покровного слоя – 40 мг/см<sup>2</sup>. Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усредненного облучения любого 1 см<sup>2</sup> площади кожи этот предел не будет превышен. Предел дозы при облучении кожи лица обеспечивает не превышение предела дозы на хрусталик от бета-частиц.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв.

Лица, подвергшиеся облучению в эффективной дозе, превышающей 100 мЗв в течение года, при дальнейшей работе не должны подвергаться облучению в дозе свыше 20 мЗв за год.

Облучение эффективной дозой свыше 200 мЗв в течение года должно рассматриваться как потенциально опасное. Лица, подвергшиеся такому облучению, должны немедленно выводиться из зоны облучения и направляться на медицинское обследование.

Во время проведения экспериментальных исследований в помещении, в котором располагается электронный ускоритель «АСТРА-М», доза радиации не превышает 6 мкЗв в час (120 мЗв в год при 1700 рабочих часах). Управление работой электронного ускорителя осуществляется из экранированной операторской кабины, в которой доза радиации не превышает 1 мЗв в час.

### **7.1.3.2 Повышенные значения напряжения и тока**

Электробезопасность должна обеспечиваться:

- конструкцией электроустановок;
- техническими способами и средствами защиты;
- организационными и техническими мероприятиями (по ГОСТ Р 12.1.019-2009 «ССБТ. Электробезопасности. Общие требования и номенклатура видов защиты»).

При работе импульсного электронного ускорителя «АСТРА-М» электрический ток принимает значения до 25 кА, а напряжение до 400 кВ.

Средства защиты от поражения электрическим током (ГОСТ 12.4.011-89 «ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация»), применяемые в лаборатории «ИП и ТП»:

- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления и зануления;
- устройства выравнивания потенциалов;
- устройства дистанционного управления;
- устройства автоматического отключения;
- предохранительные устройства;
- средства индивидуальной защиты.

## **7.2 Экологическая безопасность**

Обеспечение экологической безопасности на территории РФ, формирование и укрепление экологического правопорядка основаны на действии с марта 1992 г. федерального закона «Об охране окружающей среды» в комплексе с мерами организационного, правового, экономического и воспитательного воздействия. Закон содержит свод правил охраны окружающей среды в новых условиях хозяйственного развития и регулирует природоохранные отношения в сфере всей природной среды, не выделяя ее отдельные объекты, охране которых посвящено специальное законодательство. Задачами этого законодательства являются:

- охрана природной среды;
- предупреждение вредного воздействия хозяйственной и иной деятельности;

- оздоровление окружающей природной среды и улучшение ее качества.

Эти задачи реализуются через три группы норм:

- нормативы качества окружающей среды;
- экологические требования к хозяйственной и другой деятельности, влияющей на окружающую среду;
- механизм исполнения этих требований.

### **7.2.1 Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы)**

В процессе функционирования электронного ускорителя происходит выделение озона – 0,06 мг/куб.м и окисел азота – 2,8 мг/куб.м.

Продукты радиолиза воздуха образуются в основном лишь в зоне пучка ускоренных электронов, потом эти продукты распространяются в объеме камеры. Концентрация озона и окислов азота рассчитывается согласно СанПиН 2.6.1.2573-10 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ». Согласно данному документу, ПДК выделения озона не должна превышать 1 мг/куб.м, окислов азота – 5 мг/куб.м.

### **7.2.2 Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы) и литосферу (отходы)**

При работе ускорителя не происходит сбросов в гидросферу или воздействия отходов на литосферу, так как никаких опасных веществ при проведении экспериментов не используются.

## **7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Авария – это повреждение машины, станка, оборудования, здания, сооружения. Производственная авария – это внезапная остановка работы или нарушение установленного процесса производства на промышленных предприятиях, транспорте и др. ОЭ, которые приводят к повреждению или уничтожению материальных ценностей, поражению или гибели людей.

Как правило, следствием крупных аварий и катастроф являются пожары и взрывы, в результате которых разрушаются производственные и жилые здания, повреждаются техника и оборудование. В ряде случаев они вызывают загазованность атмосферы, разлив нефтепродуктов, а также агрессивных жидкостей. Причинами производственных аварий и катастроф могут быть стихийные бедствия, дефекты, допущенные при проектировании или строительстве сооружений и монтаже технических систем, нарушения технологии производства, правил эксплуатации транспорта, оборудования, машин, механизмов. Наиболее распространенными причинами аварий и катастроф на ОЭ являются нарушения технологического процесса производства и правил техники безопасности (ТБ).

#### **7.3.1 Перечень возможных ЧС:**

- возгорание оборудования;
- короткое замыкание электрической цепи, связанное с неисправностью оборудования.

В качестве типичной ситуации рассматривается пожар.

#### **7.3.2 Превентивные меры по предупреждению возгораний:**

- следить за состоянием электрической проводки;
- не оставлять без присмотра включенные электронагревательные приборы (паяльник);
- не пользоваться без навыков горючими и легковоспламеняющимися жидкостями (ацетон, бензин).

#### **7.3.3 Действия при возникновении ЧС:**

- при возгорании в срочном порядке необходимо сообщить о пожаре по телефону 101;
- дать сигнал тревоги, принять меры по эвакуации людей.

В срочном порядке покинуть помещение. При возможности приступить к устранению пожара с помощью имеющихся средств пожаротушения.

## **7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Правовые и организационные вопросы изложены в документе СанПиН 2.6.1.2573-10 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ». Основные положения и требования регламентируются данным документом.

### **Вывод**

В данной главе был произведен анализ производственной безопасности, экологической безопасности, безопасности в чрезвычайных ситуациях, а также рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности относительно экспериментального метода исследования на импульсном электронном ускорителе «АСТРА-М». В качестве объекта исследования использовался катод импульсного электронного ускорителя с высоким ресурсом.

Были выявлены физически вредные и опасные производственные факторы в рабочей зоне компактного импульсного ускорителя электронов с высоким ресурсом, такие как:

- микроклимат;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- повышенная напряженность магнитного поля;
- повышенная напряженность электрического поля;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень ионизирующих излучений;
- повышенные значения напряжения и тока.



Была произведена оценка влияния установленных вредных и опасных производственных факторов, как на работника, так и на окружающую среду. Согласно полученной оценке можно утверждать, что грамотное соблюдение техники безопасности, нормативных документов, национальных стандартов, межгосударственных стандартов и др. позволяет снизить риск поражения от данных факторов к минимуму.

## Заключение

Было произведено проектирование конструкции катода, позволяющей увеличить ресурс работы катода, применяемого в импульсных ускорителях электронов, основанных на трансформаторной схеме генерации напряжения, где в качестве плазмообразующего вещества эмиттера использовалась дистиллированная вода.

В результате испытания катода на импульсном электронном ускорителе «АСТРА-М» разработанная конструкция взрывоэмиссионного катода доказала свою работоспособность. Однако она имеет ограничение по объему вещества эмиттера. Соответственно, в дальнейшем возможна оптимизация конструкции для получения однородного пучка за счет увеличения эмиссионных центров и конструкции катода, обеспечивающей внешний подвод жидкости.

Можно сделать вывод, что проведенная работа по разработке и испытанию взрывоэмиссионного катода, где в качестве вещества эмиттера применялась дистиллированная вода, позволит в будущем решить вопрос ограниченности ресурса катодов для ускорителей с пологим фронтом импульса напряжения.

**ПАСПОРТ**

**МЕМБРАНА ТРЕКОВАЯ**

ТУ ТУ-5131-001-02070200-2002

Партия № 518-16

Марка материала: - лавсан (полиэтилентерефталат) (ГОСТ 24234-80)  
ТУ-6-49- 5761783-339-90.

Условное обозначение мембраны: «ТОМТРЕК»

Количество (м) 200

Дата изготовления мембраны: 22.11.2016

Дата проведения контрольных испытаний: г. 23.11.2016

10<sup>7</sup> мкм<sup>2</sup>

Результаты испытаний

Наименование показателя	Норма по ТУ	Фактически
Диаметр пор, мкм	0,4	0,4 - 0,43
Проницаемость по азоту, л·мин <sup>-1</sup> · см <sup>-2</sup>	4,2	5
Предел прочности, МПа	0,172	0.172

Рук. гр. Мембрана  
С.н.с. ФТИ ТПУ

Сохорева В.В

Исполнитель контрольных  
измерений.

Мирончик В.Г.

## Список использованных источников

1. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. М.: Наука, 2004. 704 с.
2. Месяц Г.А. Электронная эмиссия из сегнетоэлектрических плазменных катодов // Успехи физических наук. 2008. Т. 178. №1. С. 85–108.
3. PoleznayaModel.ru Патентный поиск [Электронный ресурс]. URL: <http://poleznayamodel.ru>, свободный. Заглавие с экрана: Взрывоэмиссионный катод сильноточного ускорителя электронов.
4. Месяц Г.А. Эктоны. Ч.1. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1993. 184 с.
5. Д.М. Паутов, В. А. Ткаченко, В. С. Нешпор и Э.И. Подольская // Патент СССР №767858. 30.09.80.
6. Проскуровский Д.И., Янкелевич Е.Б. Взрывоэмиссионный катод большой площади // Сильноточные импульсные электронные пучки в технологии / Отв. ред. Г.А. Месяц. Новосибирск: Наука, 1983. С. 21–26.
7. Вагнер М.И., Егоров И.С., Кайканов М.И., и др. Исследование характеристик планарного диода с композиционным катодом. // Изв. ТПУ. 2011. №11/3. С. 80–86.
8. Пушкарёв А.И. Исследование первеанса планарного диода с многоострийным катодом // ЖТФ. 2008. Т. 78. Вып. 3. С. 78–82.
9. Ротарь С.В, Ермоленко Н.С. Исследование генерации импульсного сильноточного электронного пучка наносекундной длительности // XIX Международная научно-практическая конференция «Современные техника и технологии». 2013. С. 88–89.
10. Котов Ю.А., Соковнин С.Ю., Балезин М.Е. Металлокерамический катод // Патент РФ № 2158982. 11.11.1999.

11. Котов Ю.А., Соковнин С.Ю., Балезин М.Е. Наносекундный ускоритель электронов // Патент РФ № 2191488. 20.10.2002.
12. Котов Ю.А., Соковнин С.Ю., Балезин М.Е. Исследование характеристик металлокерамического катода // ЖТФ. 2003. Т.73. №4. С. 124–128.
13. Сидорюк Т.Ю. Моделирование микрорельефа на МДМ-структурах // Научно-практическая конференция студентов «Наука и практика: проектная деятельность – от идеи до внедрения». 2014.
14. Miller R.B. Mechanism of Explosive Electron Emission for Dielectric Fiber (Velvet) Cathodes // J. Appl. Phys. 1998. Vol. 84. P. 739.
15. Artem Poloskov, Ivan Egorov, Vitaly Ezhov, Gennady Remnev. Multicapillary Carbon-epoxy Tubes as a Cathode Material for a Pulsed Electron Accelerator // Key Engineering Materials. 2016. P. 667–671.
16. SolverBook [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.solverbook.com>, свободный. Заглавие с экрана: Заряд электрона.
17. Егоров И. С., Кайканов М. И., Луконин Е. И. и др. Частотно-импульсный электронный ускоритель «АСТРА» // ПТЭ. 2013. № 5. С. 81–84.
18. Соковнин С.Ю. Наносекундные ускорители электронов и радиационные технологии на их основе. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 225 с.
19. Егоров И.С., Кайканов М.И., Ремнев Г.Е. Выходное окно сильноточного ускорителя электронов «АСТРА». // Изв. ТПУ. 2013. Т.322. С. 91–94.