

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Энергетический (ЭНИИ)

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Исследование процессов коммутации тока и введения реагентов в плазму ускоряемого разряда

УДК 621.316.54:533.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM4E	Сикоев Евгений Эдуардович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сивков А. А.	д.т.н., с.н.с.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Е.А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроснабжение промышленных предприятий	Завьялов В.М.	д.т.н.		

Томск – 2016 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P2	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P3	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P4	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P5	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P6	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P7	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P8	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.
<b>Универсальные компетенции</b>	
P9	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P10	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P11	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P12	Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Энергетический  
Направление подготовки 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»  
Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий

УТВЕРЖДАЮ:  
И.о.зав. кафедрой ЭПП  
\_\_\_\_\_ Завьялов В.М.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
5AM4E	Сикоев Евгений Эдуардович

Тема работы:

Исследование процессов коммутации тока и введения реагентов в плазму ускоряемого разряда	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 04.02.2016 г. № 764/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Срок сдачи студентом выполненной работы:	до 10.06.16 г.
--	----------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Экспериментальный стенд на основе емкостного накопителя энергии, конструкция коаксиального магнитоплазменного ускорителя
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Литературный обзор, включающий информацию о ускорителях их разновидностях и способах поджига; разработку конструкции коаксиального магнитоплазменного ускорителя; проведение экспериментальных исследований по введению различных реагентов в плазму; исследование коммутации тока; оценку коммерческого и

	инновационного потенциала научно-технического исследования; анализ опасных и вредных факторов и решение вопросов безопасности.
<b>Перечень графического материала</b>	Презентация
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент	Грахова Е.А.
Социальная ответственность	Дашковский А.Г.
Иностранный язык	Матухин Д.Л.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Введение	
Проведение серии опытов по введению реагентов в плазму ускоряемого заряда	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сивков А.А.	д.т.н., с.н.с.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM4E	Сикоев Евгений Эдуардович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 122 с., 43 рис., 14 табл., 60 источников, 6 прил.

Ключевые слова: коаксиальный магнитоплазменный ускоритель, емкостной накопитель энергии, игнитронные разрядники, истечение плазмы, введение реагентов, коммутация тока.

Объектом исследования является система на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) с помощью которой реализуются опыты для сравнения разных способов инициирования.

Цель диссертационной работы - исследование процессов коммутации тока и введения реагентов в плазму ускоряемого разряда.

Для достижения поставленной цели проведён ряд экспериментов на КМПУ, был произведён анализ и обработка полученных данных.

В результате исследования были получены фотограммы истечения плазмы, результаты эксперимента представлены в виде осциллограмм и сделаны выводы о проделанных опытах.

Степень внедрения: разработка находится на стадии прикладных научно-технических исследований.

Область применения: нанодисперсные порошки, полученные с помощью коаксиального ускорителя, могут применяться как компонент жаропрочных и твердых сплавов, абразивный материал, упрочняющее вещество в композиционных материалах.

Экономическая эффективность работы согласно расчетам, в разделе финансовый менеджмент, срок окупаемости проекта составляет 3,5 года.

## **ABSTRACT**

Final qualifying work consists of 123 p., 43 fig., 14 tab., 60 sources, 6 adj.

Keywords: coaxial magneto-plasma accelerator, capacitive energy storage, ignitrons arresters, outflow of plasma, the introduction of reagents, switching current.

The object of the study is the system based on coaxial magneto-plasma accelerator (CMPA) whereby implemented experiments to compare different methods of initiation.

The purpose of work – research of current switching processes and the introduction of reagents into the plasma accelerated charge.

To achieve this purpose was conducted a series of experiments on the CMPA, analysis was performed and data processing.

A result of research expiration plasma pictures were obtained, experiment results are presented in the form of oscillograms and conclusions about the done experiments.

Degree of implementation: development is at the stage of applied scientific and technical research.

Scope: nanosized powders, received using coaxial accelerator can be used as a component of heat-resistant and hard alloys, abrasive material, reinforcing agents in composite materials.

Economic efficiency according to calculations in section financial management payback period is 3.5 years.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

- БУИ – блоки управления игнитронами;
- ВКС - высокоскоростная кумулятивная струя;
- ВМП – внешнее магнитное поле;
- ГГВ – газогенерирующее вещество;
- ГИТ – генератор импульсов тока;
- ДН – делитель напряжения;
- ЕНЭ – емкостной накопитель энергии;
- ЗУ – зарядное устройство;
- ИР - игнитронные разрядники;
- ИТ – импульсный трансформатор;
- К – коммутатор, ключ;
- КБ - конденсаторная батарея;
- КМПУ – коаксиальный магнитоплазменный ускоритель;
- КУ – коаксиальный ускоритель;
- КФПС – канал формирования плазменной структуры;
- РУ – рельсовый ускоритель;
- СК – система коммутации;
- СЭ – соединительные элементы;
- ТР – трансформатор Роговского;
- УБС – устройства управления, блокировки и синхронизации;
- УК – ускорительный канал;
- ЭВП – электровзрывающиеся проводники;
- ЭМУ – электромагнитный ускоритель.

## Оглавление

Введение.....	11
1 Литературный обзор .....	13
1.1 Разновидности ускорителей и принцип зажигания электрической дуги..	13
1.2 Рельсовые ускорители .....	13
1.3 Устройство коаксиального магнитоплазменного ускорителя.....	14
1.4 Кумулятивные ускорители.....	17
1.5 Электромагнитные ускорители .....	18
1.6 Легкогазовые ускорители.....	19
1.7 Индукционные ускорители .....	20
1.8 Плазменные ускорители.....	21
2 Объект и методы исследования .....	22
2.1 Емкостные накопители энергии и их виды .....	22
2.2 Игнитронный разрядник.....	26
2.3 Стенд на основе емкостного накопителя энергии .....	29
2.4 Емкостной накопитель энергии.....	30
2.5 Система питания, зарядки и разрядки.....	31
2.6 Система управления питанием и контроля зарядки и разрядки накопителя .....	35
2.7 Система синхронизации .....	37
2.8 Система регистрации.....	38
2.9 Система защиты .....	42
2.10 Взаимосвязь систем и устройств электроустановки силового стенда ....	44
3 Проведение серии опытов .....	48
3.1 Принцип действия и общая схема КМПУ .....	48



3.2 Экспериментальная часть.....	49
3.2.1 Опыт с графитизацией ствола.....	52
3.2.2 Опыт с использованием ЭВП – медные проволочки .....	54
3.2.3 Опыт с использованием графитового войлока .....	55
3.2.4 Использование углеродных нитей с графитовым войлоком.....	57
3.2.5 Проведение опыта с аморфным бором и углеродом.....	59
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	64
4.1 Коммерческий и инновационный потенциал НТИ .....	64
4.2 Проектирование управления проектом.....	67
5. Социальная ответственность .....	82
Введение.....	82
5.1 Техногенная безопасность .....	83
5.1.1 Описание рабочего места .....	83
5.1.2 Освещение.....	84
5.1.3 Шум .....	87
5.1.4 Микроклимат .....	88
5.1.5 Электромагнитное поле.....	90
5.1.6 Психофизические факторы .....	90
5.2 Электробезопасность .....	91
5.3 Охрана окружающей среды .....	92
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Пожарная безопасность.....	92
Заключение .....	95
Список литературы .....	97
Приложение А .....	103
Приложение Б.....	118

Приложение В.....	119
Приложение Г.....	120
Приложение Д.....	121
Приложение Е.....	122

## **Введение**

Разработку новых материалов и технологий их получения и обработки в настоящее время общепризнанно относят к так называемым «ключевым» или «критическим» аспектам основы экономической мощи и обороноспособности государства. Одним из приоритетных направлений развития современного материаловедения являются наноматериалы и нанотехнологии [1]. Развитие фундаментальных и прикладных представлений о наноматериалах и нанотехнологиях уже в ближайшие годы может привести к кардинальным изменениям во многих сферах: энергетике, электронике, информатике, машиностроении, медицине, сельском хозяйстве, экологии. Наряду с компьютерно-информационными технологиями и биотехнологиями, нанотехнологии являются фундаментом научно-технической революции в 21 веке [2].

К наноматериалам условно относят дисперсные и массивные материалы, содержащие структурные элементы (зерна, кристаллиты, блоки, кластеры), геометрическим размером частиц от 1 до 100 нм, которые обладают качественно новыми свойствами, функциональными и эксплуатационными характеристиками. Это связано с тем, что для материала таких малых размеров приобретает большое значение квантовая механика, а это существенным образом изменяет механические свойства вещества.

Значительная модификация и принципиальное изменение свойств при переходе в наноразмерное состояние вызывает прикладной интерес к таким материалам, поскольку открывает новые возможности для создания изделий и материалов из этих структурных элементов.

Технологические процессы, как правило, являются многостадийными и длительными по времени, требуют громоздкого и дорогостоящего оборудования, больших энергозатрат и выполнения требований безопасности и экологичности.

Целью данной работы является исследование процессов коммутации тока и введения реагентов в плазму ускоряемого разряда с помощью коаксиального ускорителя.

## 1 Литературный обзор

Любое устройство, использующее взаимодействие тока разряда с собственным или внешним магнитным полем для приведения газа в движение, можно рассматривать как электромагнитный ускоритель. В данной работе рассматривается одно из наиболее перспективных приложений - ускорение плазмы разряда и твердых тел. Подобного типа ускорители требуются для исследования высокоскоростного взаимодействия, ускорения порошков и плазмы при создании функциональных покрытий.

### 1.1 Разновидности ускорителей и принцип зажигания электрической дуги

Различие между типами электромагнитных ускорителей заключается лишь в их геометрическом исполнении, направлении движения тока и схем наложения внешнего магнитного поля служащих либо для улучшения равномерности заполнения плазмой межэлектродного промежутка, либо для увеличения движущей силы.

### 1.2 Рельсовые ускорители

Рельсотроны в простейшем случае представляют собой два параллельно расположенных электрода – стержни-рельсы. В коаксиальном ускорителе имеется внутренний и наружный коаксиальный цилиндры. В обоих случаях процесс образования начинается после подключения электродов к какому-либо импульсному источнику энергии. Спустя некоторое время происходит пробой диэлектрического промежутка между электродами и образование плазменного потока, по которому протекает ток  $I$  через электроды-рельсы в рельсотроне и через центральный электрод и электрод-ствол в коаксиальном ускорителе. Вокруг направляющих электродов в рельсотроне и вокруг внутреннего электрода в коаксиальном ускорителе возникает азимутальное магнитное поле  $\vec{B}$ , которое взаимодействует с полем тока, протекающего по плазменному

промежутку, и создает силу  $\vec{F}$ , направленную в сторону, противоположную местам подвода тока к электродам. Если ток распределен в среде, то на единицу объема действует сила  $\vec{j} \times \vec{B}$ , а на весь выделенный объем  $A$ :

$$\vec{F} = \int_A \vec{j} \times \vec{B} dA \quad (1.1)$$

Эта сила нормальна к направлениям тока и магнитного поля. Ее направление действия не зависит от направления тока, так как со сменой знака  $i$  меняется и направление  $\vec{B}$ . Токовая петля, состоящая из электродов и плазменного промежутка, стремится как бы расшириться, увеличить свои линейные размеры. При этом образовавшаяся струя плазмы ускоряется до скоростей, близких к сверхскоростным значениям (несколько км/с). Происходит вынос материала вместе с плазменным потоком в камеру ускорителя, где давление и температура достигают критических значений. Выделяющаяся энергия соизмерима с энергией химических связей, происходит изменение свойств среды [3].

### 1.3 Устройство коаксиального магнитоплазменного ускорителя

В основу принципиальной схемы и конструкции КМПУ электроразрядной плазмы заложена концепция одновременного использования всех основных механизмов и физических принципов преобразования электромагнитной энергии в кинетическую энергию метаемой массы. Это позволило существенно повысить КПД и эффективность преобразования энергии, как в режиме ускорения твердых тел, так и при ускорении электроразрядной плазмы [4-7]. На основе такого подхода была разработана так называемая “гибридная” схема ускорительной системы, ряд технических решений [8-11] и конструкция КМПУ. КМПУ состоит из двух основных узлов: сменного узла - классического коаксиального Z-пинч ускорителя (далее – пинчер) [12] и стационарного узла - внешней индукционной системы. Z-пинч ускоритель очень прост в конструктивном отношении и состоит из четырех элементов: центрального электрода, выполненного в виде металлической

шпильки; электрода–ствола , выполненного из отрезка металлической трубы; стеклопластикового изолятора с каналом у вершины центрального электрода; пучка электровзрывающихся проводников (ЭВП), проходящих через канал формирования плазменной структуры (КФПС) в изоляторе и соединяющих электрически вершину центрального электрода с цилиндрической поверхностью УК в начале ствола. Пучок ЭВП плотно вставляется в осевое отверстие в вершине центрального электрода, проходит через канал в изоляторе и фонтанообразно симметрично огибает торец изолятора. Узел центрального электрода плотно запрессовывается в УК. При запрессовке концы ЭВП плотно зажимаются между цилиндрическими поверхностями изолятора и УК, что обеспечивает надежный электрический контакт. При необходимости канал в изоляторе заполняется газогенерирующим веществом (ГГВ) (трансформаторным маслом или техническим вазелином) с необходимыми добавками. ЭВП являются инициаторами дугового разряда между центральным электродом и электродом-стволом [13]. Такая конструкция узла иницирования разряда обеспечивает начальное формирование конфигурации сильноточного разряда типа Z-пинч с круговой плазменной перемычкой. Таким образом, пинчер представляет собой единый прочно собранный узел.

Рабочая камера, в которой производится плазменный выстрел, герметична и позволяет проводить процесс в атмосферных условиях, при пониженном давлении до 0,1 атм. и повышенном давлении. Она имеет прозрачные окна из толстого оргстекла, позволяющие производить высокоскоростную съемку процесса истечения гиперзвуковой плазменной струи из УК и ее воздействия на располагаемую в камере мишень.

Принцип действия КМПУ заключается в следующем. В исходном состоянии КМПУ включен в разрядный контур ЕНЭ. Накопитель заряжен до требуемого напряжения. При замыкании ключа К, что в реальной схеме равнозначно одновременному или поочередному запуску игнитронных разрядников, по обозначенному стрелками контуру начинает протекать нарастающий ток разряда конденсаторной батареи. В этот контур

последовательно включены: один полюс С, центральный электрод, ЭВП, ствол-электрод (начало ствола), контактный цилиндр, соленоид, контактный фланец, стяжные токоведущие шпильки, второй полюс С. При достижении разрядным током  $i(t)$  некоторого уровня, происходит электровзрыв проводников и возникает дуговой разряд с плазменной структурой типа Z-пинч с круговой плазменной перемычкой. Для усиления начальной динамики ускорения КФПС в изоляторе центрального электрода может заполняться водородонасыщенным ГГВ (более 10 % водорода), например, трансформаторным маслом или техническим вазелином [14]. При контакте с плазмой разряда ГГВ термически разлагается с высвобождением водорода. Водород (легкий газ) нагревается и расширяется с большой скоростью, обеспечивая начальное ускорение круговой плазменной перемычки, за которой вытягивается токоведущий плазменный жгут. Устойчивое состояние плазменной структуры обеспечивается магнитным давлением поля собственного тока, а также магнитным давлением аксиальной составляющей ВМП соленоида индукционной системы. При токе  $10^5$  А и предполагаемом диаметре плазменного жгута  $\sim 5,0$  мм индукция этих составляющих равняется соответственно  $\sim 8$  Тл и  $\sim 3$  Тл. При этом на плазменную перемычку действует пандеромоторная сила Лоренца, независимо от направления тока в коаксиальном контуре:

$$F_{л} = \frac{L' \cdot I^2}{2} \quad (1.2)$$

где:  $I$  - ток перемычки,  $L'$  - погонная индуктивность коаксиальной системы, равная  $\sim 0,3 \cdot 10^{-3}$  Гн/м, которая при  $I = 100$  кА составляет  $\sim 1500$  Н.

В процессе работы ускорителя в разряде постоянно накапливается и вовлекается в течение масса материала, наработанного электроэрозионным путем с металлической поверхности ускорительного канала. Этот материал выносится струей из ускорительного канала [15-26] и является основой для нанесения покрытия на мишень-подложку, расположенную на некотором расстоянии от среза ствола КМПУ.



## 1.4 Кумулятивные ускорители

Данный тип ускорителей относится к устройствам для метания кумулятивным взрывом. Эти ускорители предназначены для высокоскоростного метания твердых тел и используются для лабораторных исследований и испытаний материалов в области высоких динамических давлений. Для получения кумулятивных струй используются заряды взрывчатого вещества [27].

Высокоскоростная кумулятивная струя (ВКС) представляет собой поток атомов и ионов, полученный при взрывном обжатии металлического цилиндрического лайнера. Схема эксперимента для получения ВКС показана на рисунке 1.

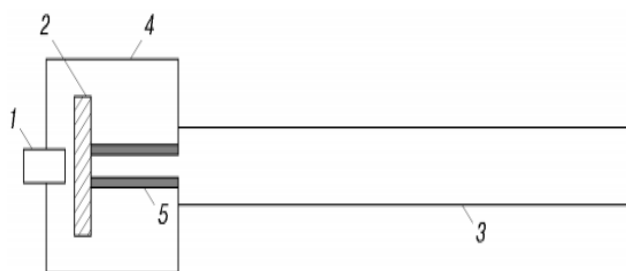


Рисунок 1 - Схема эксперимента для получения ВКС:

1 – детонатор, 2 – вставка из инертного материала, 3 – стеклянная трубка, 4 – взрывчатое вещество, 5 – лайнер

Лайнер герметично соединен со стеклянной трубкой, из которой откачан воздух. От давления оставшегося воздуха зависит максимальная скорость струи. При давлении свыше 1330 Па струя не образуется. Максимальная скорость струи достигается при давлении 10–4 Па. Такую скорость можно получить и при большем давлении, однако она будет уменьшаться по мере распространения струи по трубке. Установлено, что максимальная скорость зависит от атомной массы материала лайнера: чем меньше атомная масса, тем больше максимальная скорость струи. Наибольшая скорость для бериллия составляет 90 км/с, меди — 70 км/с, свинца — 46 км/с. Лайнер окружен зарядом

взрывчатого вещества (ВВ). Между детонатором и лайнером помещена вставка из инертного материала, от диаметра которой зависят фазовая скорость распространения детонационной волны вдоль лайнера и максимальная скорость ВКС. Для получения большей скорости необходимы вставка и заряд большего диаметра. Для меди максимальная скорость достигалась при диаметре заряда 20 см. Также отмечена зависимость скорости струи от диаметра и толщины стенок лайнера. Плотность материала струи около  $10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>. С помощью спектрального анализа струи, полученной при обжатию алюминиевого лайнера, определен состав струи: атомы и одно- и двухзарядные ионы алюминия [28].

### 1.5 Электромагнитные ускорители

Данный вид ускорителей использует метод силового воздействия импульсного магнитного поля на проводник с током. Полученная на них скорость не превышает 4-5 км/сек при массе ускоряемого тела  $10^{-4}$ - $10^{-6}$  кг. Причинами этого являются относительно низкое значение предельной по условиям нагрева скорости проводников в использованных устройствах и процессы в подвижном контакте ускоряемого проводника с направляющими рельсами. Дугообразование в контактах приводит к шунтированию ускоряемого тела плазмой и уменьшению достигаемой скорости. Ускорение осуществляется "втягиванием" снаряда в расположенный на стволе соленоид (многослойная цилиндрическая обмотка с большим количеством витков).

Снаряд ускоряется за 2 фазы движения:

1) При импульсе тока снаряд движется к центру соленоида с увеличением своей кинетической энергии

2) Снаряд движется от центра соленоида. Чтобы исключить потерю скорости, необходимо в момент нахождения снаряда в центре соленоида, отключить питание [29].

## 1.6 Легкогазовые ускорители

Изобретение относится к технике получения сверхартиллерийских (порядка 3 км/с и выше), а также космических (порядка 8 км/с и выше) скоростей моделей и ударников в лабораторных условиях.

Известны двухступенчатые легкогазовые баллистические установки [30-33], в которых метаемая сборка (снаряд) ускоряется легким газом (водородом, гелием) сжатым при помощи поршня, ускоренного в поршневом стволе, продуктами сгорания порохового заряда. Недостатки таких легкогазовых установок заключаются в следующем:

- использование пороха накладывает особые требования на организацию работ, оборудование лабораторного помещения и квалификацию обслуживающего персонала,

- при быстром нарастании давления (как правило, в таких установках используются быстрогорящие пороха) сложно обеспечить стабильность форсирования (момента срабатывания) поршня первой ступени, что приводит к нестабильности основных параметров выстрела. Причем, даже применение в первой ступени диафрагмы [31] не обеспечивает полной воспроизводимости основных параметров выстрела, так как момент прорыва диафрагмы существенно зависит от динамики нагружения [34-35].

Известны трехступенчатые легкогазовые баллистические установки, в которых поршень первой ступени ускоряется продуктами сгорания порохового заряда. Недостатки таких трехступенчатых легкогазовых установок такие же, как и у двухступенчатых установок [30-33].

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому техническому результату является трехступенчатая легкогазовая пушка [36], принятая за прототип изобретения. Трехступенчатая легкогазовая пушка включает главный ствол, который с одной стороны закрыт затвором с запальным устройством, а с другой присоединен к ведущему стволу. Внутри главного ствола расположен главный поршень, который разделяет внутренний объем ствола на пороховую камеру с размещенным в ней пороховым зарядом и главную камеру,

заполненную водородом или гелием (первая ступень). Во входной части ведущего ствола размещен ведущий поршень, отделяющий главную камеру от ведущей камеры (внутренний объем ведущего ствола) так же заполненной легким газом (вторая ступень). Другим концом ведущий ствол присоединен к баллистическому стволу, во входной части которого размещен метаемый элемент (третья ступень).

Установка работает следующим образом. При срабатывании запального устройства воспламеняется пороховой заряд, продукты сгорания которого ускоряют главный поршень. В результате движения главного поршня сжимается газ в главной камере. По достижении определенного давления начинает двигаться ведущий поршень сжимающий газ в ведущей камере. По достижении в ведущей камере определенного давления приходит в движение и начинает ускоряться метаемый элемент.

Недостатки описанной трехступенчатой легкогазовой установки заключаются в следующем:

- повышенная опасность проведения работ, связанных с использованием пороха;
- плохая воспроизводимость основных параметров выстрела из-за невозможности обеспечить повторяемость момента срабатывания поршня первой ступени и давления прорыва диафрагмы.

### **1.7 Индукционные ускорители**

Одним из способов получения сверхзвуковых скоростей твёрдых тел для исследования явлений, связанных с высокоскоростным соударением, является индукционное ускорение проводников в импульсном магнитном поле. В настоящее время достаточно полно изучены процессы в электромагнитных индукционных ускорителях кольцевых проводников, которые нашли практическое применение.

Для исследования высокоскоростных взаимодействий требуется получение высоких скоростей тел различной формы, в частности

цилиндрической. Ускорение таких проводников можно осуществлять в импульсном магнитном поле индуктора, имеющего форму соленоида.

Принцип действия индукционного ускорителя прост: в некотором объеме проводящего тела внешним магнитным полем наводятся вихревые токи, которые создают в свою очередь противоположно направленное магнитное поле, пытающееся скомпенсировать действие внешнего. Эти два магнитных поля отталкиваются, за счет чего происходит ускорение снаряда относительно катушки, создающей внешнее магнитное поле. Чем мощнее импульс и чем короче его фронт - тем сильнее ускорится снаряд [37].

### **1.8 Плазменные ускорители**

Плазменные ускорители - новая технология ускорения, которая позволяет достичь сверхвысоких градиентов магнитного поля. Применяется для ускорения электронов до высоких энергий в расстояниях порядка метра, в частности, с лазерным приводом Wakefield. Плазменные ускорители за последнее время были значительно улучшены, демонстрируя производство спектров квази-моноэнергетических электронов.

Плазменные потоки с большими скоростями можно получить разными способами, направленным воздействием лазерного излучения на твёрдое тело.

В рамках первого подхода ускорение плазмы обусловлено перепадом полного (ионного и электронного) давления  $p = p_i + p_e$  и действием силы Ампера  $F_A$ , возникающей при взаимодействии токов, текущих в плазме с магнитным полем.

В рамках второго подхода ускорение ионов объясняется:

- 1) действием электрического поля  $E$ , существующего в плазменном объёме;
- 2) столкновениями ионов с направленным потоком электронов;
- 3) столкновениями ионов с ионами, благодаря которым энергия хаотического движения ионов переходит в энергию направленного движения (тепловое или газодинамическое ускорение ионов) [38].

## 2 Объект и методы исследования

### 2.1 Емкостные накопители энергии и их виды

Емкостные накопители энергии (ЕНЭ) используются в физических экспериментах благодаря ряду достоинств:

- малое внутреннее сопротивление ( $10 \cdot 10^{-3}$  Ом),
- малая индуктивность ( $1 \cdot 10^{-9}$  Г).

Это позволяет обеспечить малое время разряда (0,01-100 мкс), высокую эффективность передачи энергии в нагрузку, возможность достижения рекордных значений мощности (до  $10^{13}$  Вт) и скорости нарастания тока ( $10^{13}$  А/с).

Кроме того, емкостные накопители обладают рядом эксплуатационных удобств (отсутствие движущихся элементов, простота обслуживания, модульный принцип исполнения, позволяющий отключать и легко заменять элементы при случайных повреждениях).

Недостатки: низкая плотность энергии по сравнению с другими типами накопителей ( $0,1-0,5$  МДж/м<sup>3</sup>), при этом у крупных емкостных накопителей среднее значение плотности энергии (в расчете на весь объем) в 2-2,5 раза меньше. Поэтому емкостные накопители с энергией ( $10^6-10^7$ ) Дж представляют собой крупные сооружения, занимающие залы и здания.

Емкостные накопители энергии классифицируются по следующим признакам:

- по зарядному напряжению (низкого напряжения - 10 кВ, среднего напряжения - до 100 кВ, высокого напряжения - свыше 100 кВ),
- по запасаемой энергии (малой - до 100 кДж, средней – до 1000 кДж, большой - свыше 1000 кДж),
- по длительности импульса (миллисекундного, микросекундного, наносекундного диапазонов).

Кроме того, ЕНЭ следует различать по типу конструкции и способам соединения элементов. Традиционной является конструкция ЕНЭ в виде

однотипных конденсаторов, соединенных в разряде параллельно (генератор импульсных токов) или последовательно (генератор импульсных напряжений). В таких генераторах конденсаторы состоят из отрезков полосковых линий, которые соединены между собой и с выводом через индуктивности.

В последние 20 лет все большее развитие получают накопители в виде формирующих линий. Это, как правило, многокаскадные емкостные накопители высокого напряжения ( $10^5$ - $10^6$ ) В, работающие в наносекундном диапазоне времени, главная особенность которых состоит в том, что энергия в последних каскадах запасается в электрическом поле полосковых или коаксиальных линиях. В режиме короткого замыкания разряд линии происходит в волновом режиме, если произведение частоты собственных колебаний конденсатора на время пробега электромагнитной волны в диэлектрике последнего больше 1.

Рассмотрим ЕНЭ конденсаторного типа, выполненные по схеме параллельного соединения конденсаторов (ГИТ) (рисунок 2.1) [39].

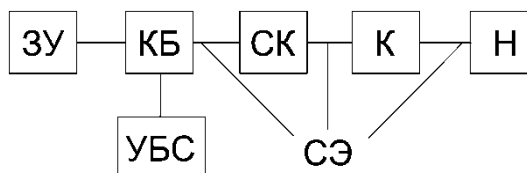


Рисунок 2.1 - Блок - схема ГИТ

Энергия, запасается в конденсаторной батарее КБ, которая заряжается до заданного напряжения с помощью зарядного устройства ЗУ и разряжается на нагрузку через систему коммутации СК, состоящую из коммутаторов и устройств управления ими. Ток от конденсаторов к разрядникам и далее к нагрузке подводится с помощью соединительных элементов СЭ (кабелей или шин). Накопители с энергией 100 кДж и выше создают в виде однотипных модулей, состоящих из отдельных конденсаторов или групп конденсаторов с общим коммутатором. Энергия, запасаемая в одном модуле, ограничена значением, не приводящим к взрыву при пробое одного из конденсаторов и

разряде на него всех конденсаторов модуля, обычно она не превышает 10-50 кДж и лишь при использовании специальных мер защиты может быть увеличена до 100-200 кДж. Каждый модуль может быть независимо подключен к нагрузке. Если цепи разряда отдельных модулей электрически не связаны (например, при питании устройств для накачки лазеров), то ГИТ представляет собой совокупность независимых элементов, включаемых одновременно или со сдвигом во времени.

Более типичны накопители, в которых ток от всех модулей должен быть передан в общую нагрузку, при этом используется дополнительная сборная шина К, к которой подводится ток от модулей и присоединяется нагрузка Н. Обязательным элементом накопителей являются устройства управления, блокировки и синхронизации УБС, обеспечивающие нормальную и безопасную работу.

Если ГИТ служат лишь как источник энергии, то к ним предъявляются следующие основные требования:

- надежность работы накопителя,
- отсутствие пробоев конденсаторов и изоляции,
- отсутствие самопроизвольного срабатывания коммутаторов,
- синхронность работы модулей.

К этой группе ГИТ относятся накопители с рекордно большим энергозапасом для питания лазеров, большинство ЕНЭ низкого напряжения, предназначенных для создания магнитного поля в больших многовитковых соленоидах, используемых для транспортировки плазменных сгустков и электронных пучков.

Такие же требования предъявляются к ГИТ, предназначенным для получения больших импульсных токов в малоиндуктивной нагрузке, и еще дополнительные требования, связанные с обеспечением высокой эффективности передачи энергии в нагрузку и высокой скорости нарастания тока. Эти требования могут быть выполнены в ГИТ, собственная индуктивность которых мала. В ГИТ, питающих малоиндуктивную нагрузку,



собственную индуктивность можно снизить путем уменьшения ее составляющих: конденсаторов ( $L_C$ ), соединительных элементов отдельных модулей ( $L_M$ ), коммутаторов ( $L_p$ ), проводников, соединяющих модули с нагрузкой ( $L_m$ ), и коллектора ( $L_K$ ).

Собственная индуктивность

$$L_0 = \left( \frac{L_C}{N_{CM}} + L_M + L_p \right) \frac{1}{N_M} + L_m + l_K \quad (2.1)$$

Где  $N_{CM}$  - число конденсаторов в модуле;

$N_M$  - Число модулей (полное число конденсаторов  $N_C = N_{CM} \cdot N_M$ ).

Собственная индуктивность  $L_0$  сама по себе мало характеризует качество конструкции ГИТ, так как этот показатель не является удельным показателем, Более удобно сравнивать ГИТ разной энергии по параметру  $L_0 W_0$ : чем он меньше, тем совершеннее конструкция ГИТ по обеспечению малой индуктивности. Задача минимизации собственной индуктивности ГИТ-комплексная. Разумный уровень требований к  $L_0$  определяется параметрами нагрузки (нет смысла добиваться значения  $L_0$  меньших, чем  $(0,1-0,2)L_H$ ), а требования к индуктивности элементов цепи должны диктоваться вкладом этих элементов в общую индуктивность. Вместе с тем важны конструктивные и экономические соображения, в частности простота конструкции ГИТ, удобство их монтажа и обслуживания, а также стоимость ГИТ, включая стоимость монтажных работ.

При разработке ГИТ возникают следующие основные проблемы:

- создание конденсаторов с повышенной удельной энергией;
- разработка системы коммутации с требуемой пропускной способностью;
- разработка соединительных элементов [40].

## 2.2 Игнитронный разрядник

Игнитронные разрядники (выпрямители) представляют собой одну из разновидностей выпрямителей с ртутным катодом. Игнитронный разрядник предназначен для использования в качестве коммутатора мощных емкостных накопителей и формирования импульсов высокого напряжения.

В современных электрогидравлических установках находят широкое применение игнитронные разрядники типа ИРТ-6. Они имеют ряд преимуществ при эксплуатации: управляемы дистанционно, малоиндуктивны, отличаются большой коммутационной способностью по току. К недостаткам относятся низкая частота следования импульсов, малый срок службы, невозможность ремонта при выходе из строя.

Отличие от обычных ртутных выпрямителей заключается в том, что катодное пятно на поверхности ртути, являющееся источником свободных электронов, возникает у них периодически, вследствие пропуска тока через полупроводниковый поджигатель.

На рисунке 2.2 а приведена схема игнитронного выпрямителя. При повышении напряжения в полупериод, соответствующий пропуску тока через вентиль 7, напряжение на поджигателе 6 возрастает, около его конца появляются искорки, переходящие в маломощную дугу между держателем поджигателя и ртутью. Эта дуга поддерживает катодное пятно, которое даёт возможность образовываться основной дуге между анодом и катодом, если цепь нагрузки замкнута и к выпрямителю подведено достаточное напряжение. В полупериод, соответствующий запертому состоянию вентиля 7, поджигание не происходит, пространство деионизируется, вследствие чего основная цепь выпрямителя не пропускает тока. Таким образом, поджигание осуществляется через каждый полупериод.

К полупроводниковому материалу поджигателя предъявляются следующие требования: он должен иметь удельное электросопротивление в пределах от 1-10 Ом\*см, не смачиваться ртутью, не нарушать вакуума в колбе выпрямителя, не бояться повышенных температур до 500-600 С, обладать



Поджигание происходит тогда, когда напряженность электрического поля в переходном слое (рисунок 2.2 б) достигнет определённого значения. При этом плотность тока поджигания должна быть так же определённой для полупроводника с известным значением удельного электросопротивления:

$$E = \rho_{\text{п}} i \quad (2.2)$$

Ток поджигания равен:

$$I = iS \quad (2.3)$$

где  $S$  – площадь зубчиков кольцевого слоя вблизи поверхности ртути, через которую ток из поджигателя переходит в ртуть.

Ввиду того, что  $\rho_{\text{п}} \gg \rho_{\text{рт}}$ , высота переходного слоя  $\Delta h$  будет мала (рисунок 2.2, б).

Меняя шероховатость поверхности, мы можем уменьшать  $S$ , а, следовательно, и величину тока поджигания.

Напряжение поджигания составит:

$$U = U_{\text{т}} + U_{\text{п}} = IR_{\text{т}} + U_{\text{п}}, \quad (2.4)$$

где  $U_{\text{т}}$  – падение напряжения на теле поджигателя;

$U_{\text{п}}$  – падение напряжения на переходном слое;

$R_{\text{т}}$  – сопротивление тела поджигателя.

Уменьшая величину тока поджигания, мы тем самым уменьшаем падение напряжения на теле поджигателя, а вследствие этого и общее значение напряжения поджигания [41].

В качестве источника электропитания использовался емкостной накопитель энергии (ЕНЭ) с суммарной емкостью батареи конденсаторов  $C = 4810 \sim 3$  Ф и максимальным зарядным напряжением 5 кВ. Разрядный контур ЕНЭ был выполнен из 48 коаксиальных кабелей, сведенных на сборный коллектор, и имел индуктивность 0,4-10 - 6 Гн. Замыкание разрядного контура осуществлялось 16 игнитронными разрядниками ИРТ-6 [42].

## 2.3 Стенд на основе емкостного накопителя энергии

Исследования проводились на установке, включающей в себя импульсный сильноточный коаксиальный магнитоплазменный ускоритель (КМПУ) и экспериментальный стенд, основным элементом которого является емкостной накопитель энергии (ЕНЭ). Применение данной методики основано на возможности генерации плазменного потока сверхзвуковой скорости в ускорительном канале КМПУ и истечении его в свободное пространство камеры-реактора, что обеспечивает условия для синтеза ультрадисперсных фаз различных сверхтвердых материалов в виде экстремальных энергетических параметров в головном скачке уплотнения плазменной струи. Генерация струи осуществляется за счет кондуктивных и индуктивных электродинамических явлений.

Экспериментальный стенд представлен на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Лицевая панель экспериментального стенда

1 – трансформатор; 2 – выпрямитель; 3 – блок управления игнитронами (БУИ);  
4 – игнитронный разрядник; 5 – коаксиальные кабели разрядного контура; 6 –  
секционированный коллектор

Экспериментальный стенд включает в себя различные системы и устройства, призванные обеспечить безопасное и корректное проведение экспериментов с возможностью управления параметрами процесса и измерения физических величин.

Силовой стенд расположен в отдельном помещении. Элементы контроля и управления размещены в помещении операторной. В составе экспериментального стенда условно выделяются следующие системы: емкостной накопитель энергии, система питания, зарядки и разрядки, система управления питанием и контроля зарядки и разрядки накопителя, система синхронизации, система регистрации, система защиты.

## **2.4 Емкостной накопитель энергии**

ЕНЭ является основным элементом экспериментального стенда (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 –Импульсный модуль конденсаторов ЕНЭ

Работа других обеспечивающих систем стенда связана, в первую очередь, с процессами зарядки и разрядки конденсаторных батарей ЕНЭ. ЕНЭ выполнен на импульсных конденсаторах марки ИС5-200 (импульсный конденсатор, изоляция – ствол, номинальное напряжение 5 кВ, емкость 200

мкФ). Суммарно ЕНЭ содержит 144 конденсатора с суммарной емкостью 28,8 мФ и максимальной возможной накопленной энергией 360 кДж.

Для удобства регулировки цепи заряда конденсаторные батареи разделены на 24 модуля, каждая из которых включает в себя 6 конденсаторов, соединенных параллельно. Это также позволяет дискретно регулировать величину запасаемой энергии с шагом 1,2 мФ.

## **2.5 Система питания, зарядки и разрядки**

Питание силовой установки осуществляется от трехфазного источника переменного тока 220/380 В через рубильник и автоматический выключатель серии ВА47-29 с номинальным током 50 А. Подача напряжения на установку производится магнитным пускателем КМИ-22510 (рисунок 2.5). Регулирование уровня напряжения – тиристорным регулятором Т15-80-7. Управление магнитным пускателем и тиристорным регулятором обеспечивается с пульта управления.



Рисунок 2.5 – Блок магнитного пускателя и автоматический выключатель

Однофазное напряжение с тиристорного регулятора подается на силовой трансформатор, который выполнен из трех параллельно соединенных однофазных трансформаторов ОМ-125/10-71У1, с целью увеличения мощности (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Силовой трансформатор

Так как зарядка ЕНЭ осуществляется от постоянного напряжения, далее по схеме соединен однофазный мостовой выпрямитель, выполненный на основе диодных сборок КЦ201Е (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Однофазный мостовой выпрямитель



Регулирование напряжения тиристорным регулятором на первичной обмотке трансформатора происходит в пределах 0-100 В, а на вторичной обмотке получается в пределах 0-5 кВ. Таким образом, возможна зарядка ЕНЭ постоянным напряжением до 5 кВ.

Для ограничения величины зарядного тока модулей в лабораторном стенде используется блок зарядных сопротивлений, расположенных на задней панели стенда (рисунок 2.8). На каждую секцию ЕНЭ приходится по одному зарядному резистору сопротивлением 56 кОм. Зарядный ток, проходящий через контур, ограничивается до значения 5 мА. Конструктивно резисторы представляют собой полые керамические цилиндры, наполненные водой. Такое конструктивное исполнение необходимо для рассеивания большого количества тепловой энергии, выделяющейся в сопротивлениях при зарядке емкостей модулей.



Рисунок 2.8 – Блок зарядных сопротивлений

Разрядный контур ЕНЭ выполнен на коаксиальных кабелях РК-50-13-17, что обеспечивает низкую величину индуктивности разрядного контура. Каждый модуль разряжается по таким кабелям длиной 2 м. Разрядный контур накопителя состоит из 48 кабелей (по 2 кабеля на модуль), суммарной

индуктивностью  $L=0,3 \cdot 10^{-6}$  Гн. Все кабели связаны на общий коллектор, к выводам которого подключается магнитоплазменный ускоритель (рисунок 2.9).

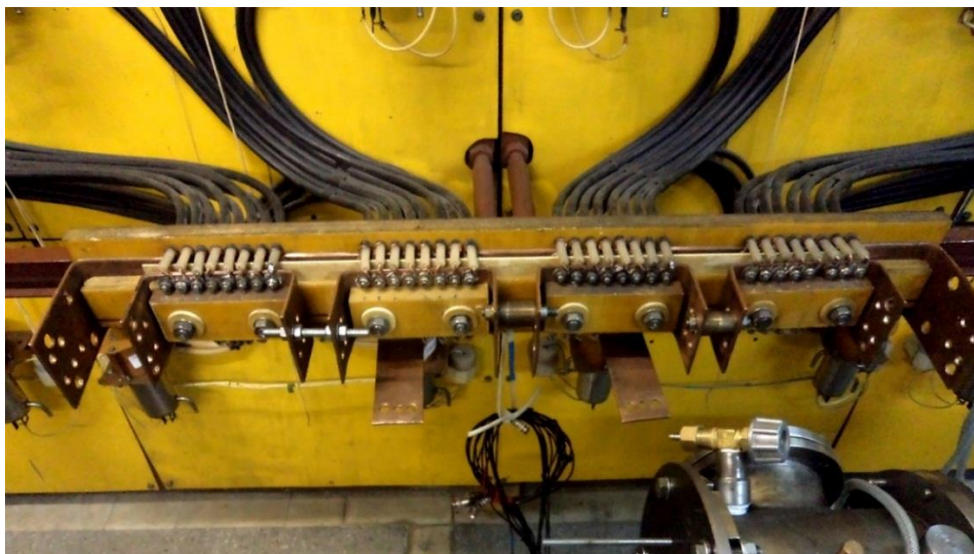


Рисунок 2.9 – Секционированный коллектор

Для коммутации ЕНЭ используются импульсные игнитронные разрядники (ИР), способные пропускать до 30 Кл электричества за один импульс тока амплитудой до 200 кА и длительностью 10 мкс. Каждый модуль ЕНЭ оборудован индивидуальным игнитронным разрядником. Для управления игнитронными разрядниками на стенде размещены четыре блока управления игнитронами (БУИ), каждый из которых управляет шестью игнитронами одновременно (рисунок 2.10).

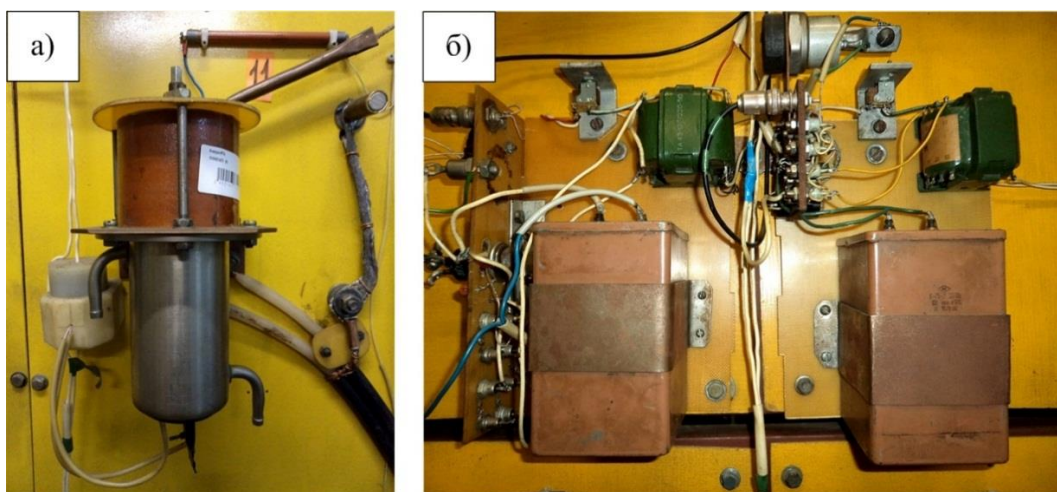


Рисунок 2.10 – а) Импульсный игнитронный разрядник; б) Блок управления игнитронами

Поджигающий высоковольтный импульс (около 4 кВ) формируется индивидуально для каждого разрядника с помощью импульсного трансформатора (ИТ), установленного около каждого ИР. Низковольтные первичные обмотки каждых трех И соединены последовательно и запитываются общим импульсом БУИ. От каждого БУИ запитаны 2 параллельные цепи питания ИТ. Управляющий импульс на БУИ подается по коаксиальному кабелю от генератора импульсов (ГИ), в качестве которого используется стандартный шестиканальный генератор задержанных импульсов ГИ-1.

Разброс срабатывания игнитронов не превышает 1,0 мкс, а время срабатывания БУИ около 10,0 мкс.

## **2.6 Система управления питанием и контроля зарядки и разрядки накопителя**

Для управления работой лабораторной установки предназначен пульт управления. Пульт управления включает в себя следующие органы управления: тумблер включения магнитного пускателя, подающего напряжение на тиристорный регулятор и первичную обмотку силового трансформатора зарядного устройства; потенциометр управления тиристорным регулятором; тумблер питания на катушку втягивающегося реле электромагнитной блокировки; подача питания на БУИ. Также на лицевой панели блока управления расположены контрольные органы – световые индикаторы, показывающие наличие напряжения питания на установке, состояние электромагнитной блокировки, состояние магнитного пускателя, состояние БУИ (рисунок 2.11).

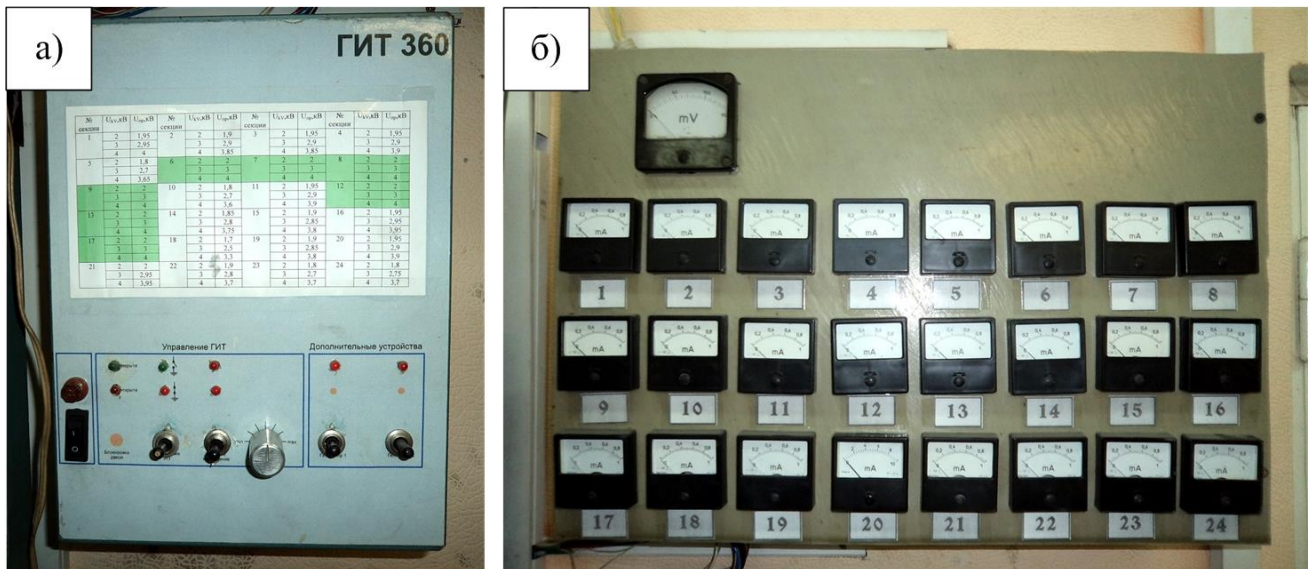


Рисунок 2.11 – а) Пульта управления; б) Пульта контроля

Для контроля над зарядным током и напряжением используется пульт контроля, содержащий измерительные приборы. Входной сигнал амперметра снимается с шунта  $R_{\text{ш}}$ , представляющего собой нихромовую катушку, установленную на минусовой цепи зарядного контура. Входной сигнал вольтметров снимается с делителей напряжения, находящихся на лицевой панели стенда (рисунок 2.12). Каждый из 24 вольтметров показывает зарядное напряжение с отдельного модуля накопителей. Делитель напряжения выполнен на основе резисторов типа КЭВ-5 сопротивлением 4,7 Мом и СФ-0,25 сопротивлением 6,8 кОм.

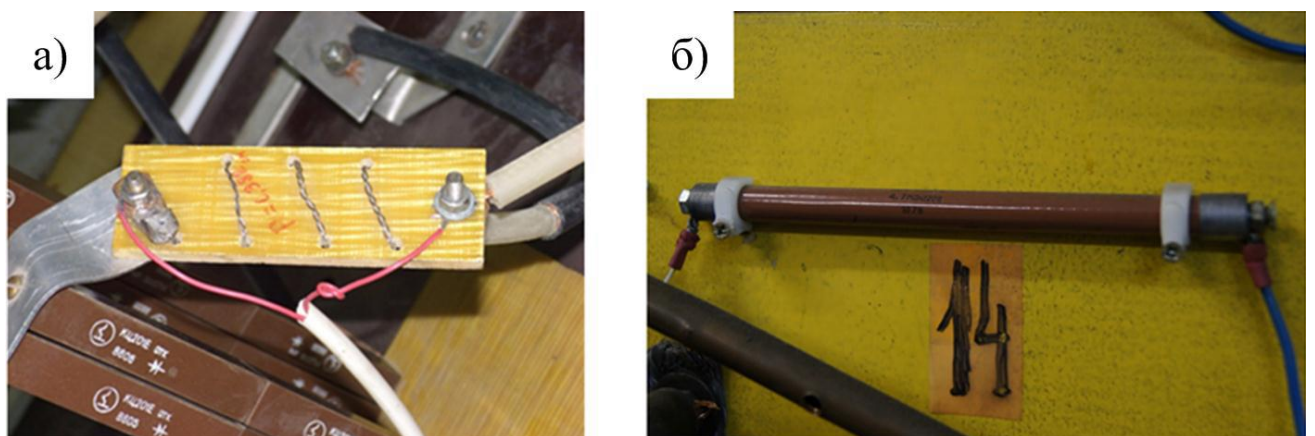


Рисунок 2.12 – а) Шунтирующее сопротивление; б) Делитель напряжения

## 2.7 Система синхронизации

В обеспечении рабочего цикла технологической установки ключевую роль играет шестиканальный генератор задержанных импульсов ГИ-1 (рисунок 2.13), который является источником импульсов треугольной формы. Он обеспечивает синхронизацию всех элементов установки. Каждый импульс имеет независимую регулировку величины задержки и имеет отдельный выход.

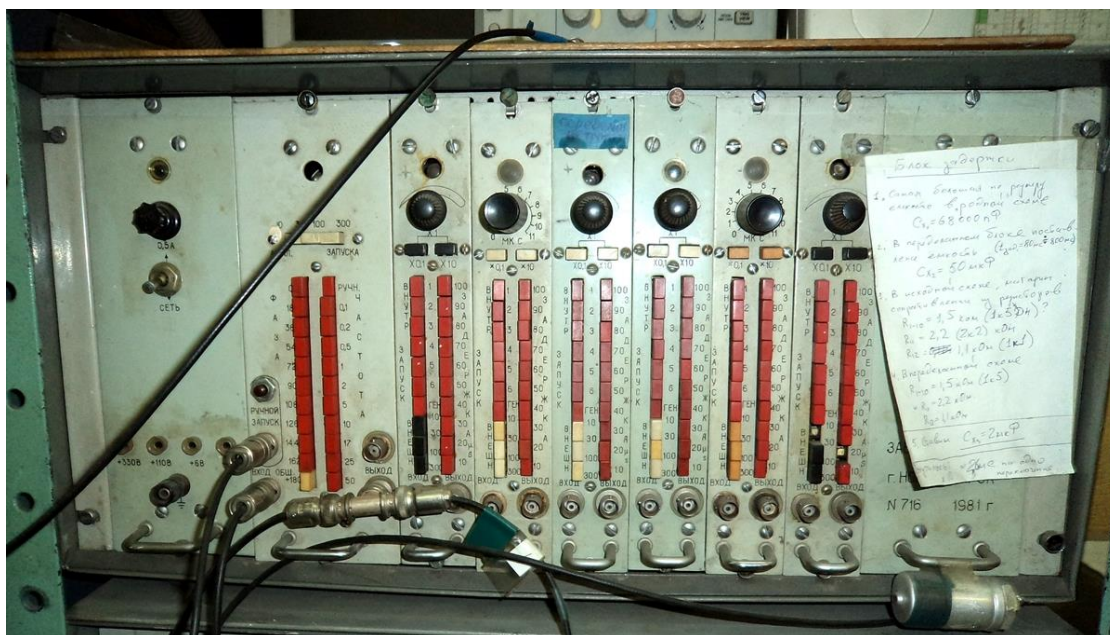


Рисунок 2.13 – Генератор импульсов

Генератор импульсов способен выработать до 6 импульсов. Первый импульс вырабатывается в момент времени  $t=0$ . Каждый из шести блоков может выдавать импульс с регулируемой задержкой по времени до  $1,0 \pm 0,1$  мс и запускаться как от задающего блока, так и от любого другого генератора. Суммарная задержка импульса относительно нулевого может быть достигнута путем последовательного включения блоков длительностью до 6 мс. Кроме того, сам генератор и каждый из его шести блоков могут запускаться от внешнего источника, например, от высокоскоростной фоторегистрирующей установки ВФУ-1. Длительность задержки импульса любого блока относительно задающего фиксируется и воспроизводится на цифровом индикаторе.

## 2.8 Система регистрации

Система регистрации необходима для регистрации мгновенных значений тока и напряжения при проведении эксперимента. Данные регистрируются с помощью омического делителя напряжения (регистрация напряжения) и трансформатора Роговского (регистрация импульсных токов), сигналы с которых записываются на цифровые осциллографы Tektronix TDS 2012 и Tektronix TDS 1012 (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Цифровой осциллограф

Конструктивно трансформатор Роговского представляет собой токовый трансформатор с воздушным сердечником (рисунок 2.15а). Хорошо подходит для измерения токовых импульсов. Трансформаторы Роговского имеют линейную передаточную функцию во всем диапазоне входных токов, что выгодно отличает их от трансформаторов на магнитных сердечниках.

Трансформатор представляет собой обмотку в виде высокоомного провода, намотанного на жилу кабеля РК-50-17-3 в полиэтиленовой изоляции, сопротивление которого составляет порядка 1000 Ом. Количество витков, намотанных на кабель, приблизительно равно 700. Кабель с намотанными витками помещен в полиэтиленовый корпус, экранированный медной фольгой.

Принцип действия трансформатора основан на свойстве изменяющегося по времени тока  $i$  создавать поле, которое индуцирует в катушке напряжение, пропорциональное изменению тока  $di/dt$ . Чтобы получить величину, пропорциональную току  $i$ , необходимо установить интегрирующий элемент, в данном случае, в качестве интегратора используется RC-цепь. Трансформаторы Роговского имеют следующие параметры:  $m=0,091$  кА/мВ,  $R_{тр}=1000$  Ом,  $C=20$  мкФ.

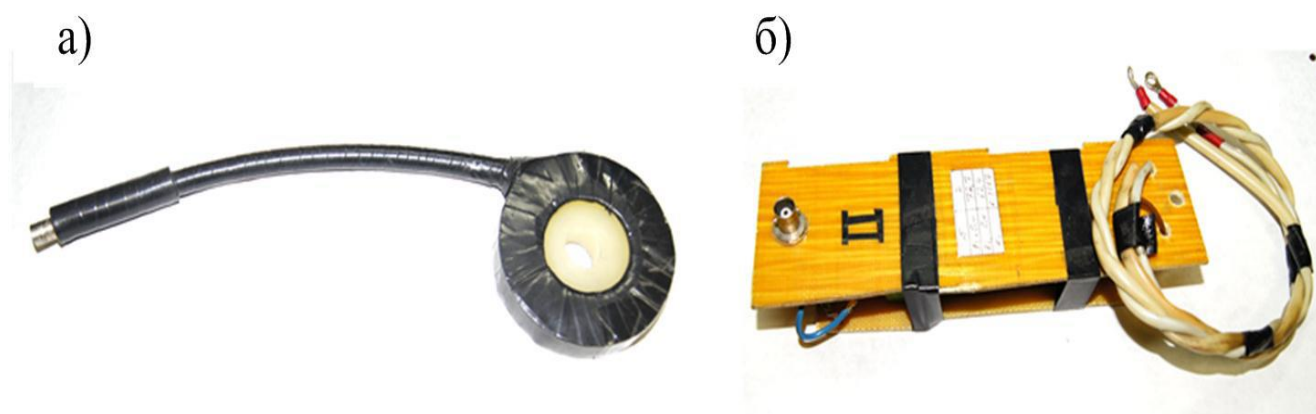


Рисунок 2.15 – а) Трансформатор Роговского; б) Омический делитель напряжения

Особенность трансформатора Роговского заключается в том, что с его помощью возможно снять сигнал, пропорциональный изменяющимся во времени токам или их производным. Принцип действия трансформатора основан на свойстве изменяющегося по времени тока  $i_1$  создавать магнитное поле, которое индуцирует в катушке, охватывающей токовую цепь, напряжение, пропорциональное изменению тока  $di_1/dt$ .

На основе несложных преобразований из закона полного тока

$$\int_C B ds = \mu I \quad (2.5)$$

возможно получить выражение для индуцированного напряжения:

$$u_1(t) = \frac{\mu ns}{\ell} \frac{di_1}{dt} = M \frac{di_1}{dt} \quad (2.6)$$

Чтобы получить величину, пропорциональную току  $i_1$ , необходимо установить интегрирующий элемент. В данном случае в качестве интегратора используется RC-цепь, построенная по схеме, показанной на рисунке 2.16.

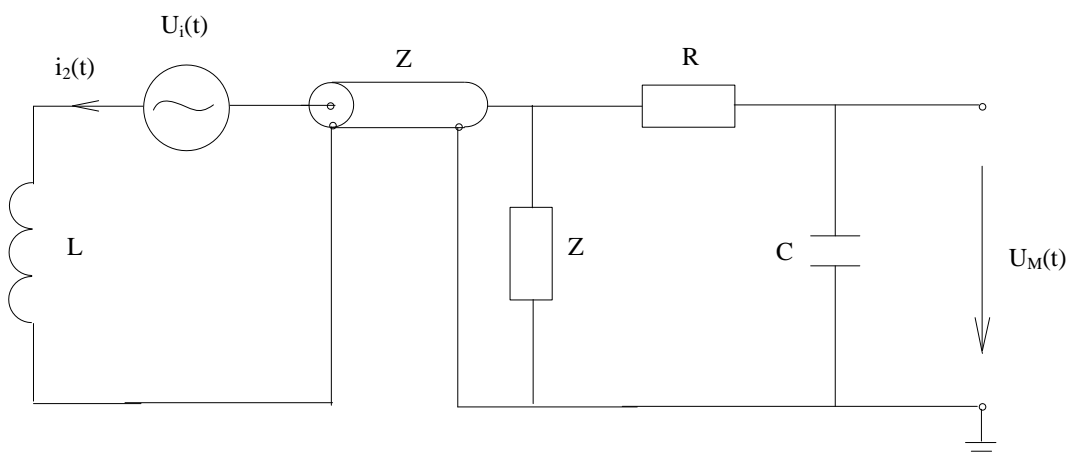


Рисунок 2.16 – Электрическое интегрирование сигнала  $U_i(t)$ , снимаемого с катушки Роговского RC- цепью

Такая схема имеет диапазон рабочих частот, ограниченный нижним пределом, когда интегрирующий элемент еще имеет интегрирующие свойства ( $\frac{1}{\omega C} \ll R$ ), и верхним пределом, обусловленным конечным волновым сопротивлением нагрузки  $Z$  ( $\omega L \ll Z$ ). С учетом указанных положений выражение для напряжения на выходе RC-цепи выглядит следующим образом:

$$u_M(t) = \frac{1}{RC} \int u_i(t) dt = \frac{M}{RC} i_1(t) \quad (2.7)$$

Таким образом, снимаемое с выхода интегрирующего устройства напряжение прямо пропорционально измеряемому току  $i_1$ . При подключении сигнала напряжения к входу осциллографа возможно получить кривую изменения тока во времени, которую необходимо отградуировать в соответствующих единицах измерения тока.

Для измерения быстроизменяющегося напряжения на шинах магнитоплазменного ускорителя используются омические делители напряжения (рисунок 2.15 б).

Простейший омический делитель напряжения включает в себя два последовательно соединенных сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  (рисунок 2.17),



находящихся в соотношении  $R_1 > R_2$ . Передаточным отношением делителя называют отношения напряжения  $u_1(t)$ , подлежащего делению, к измеряемому сигналу  $u_2(t)$ , снимаемому с низковольтной части делителя  $R_2$ . Номинальное передаточное отношение определяется по формуле:

$$k = u_1(t) / u_2(t) = (R_1 + R_2) / R_2 \quad (2.8)$$

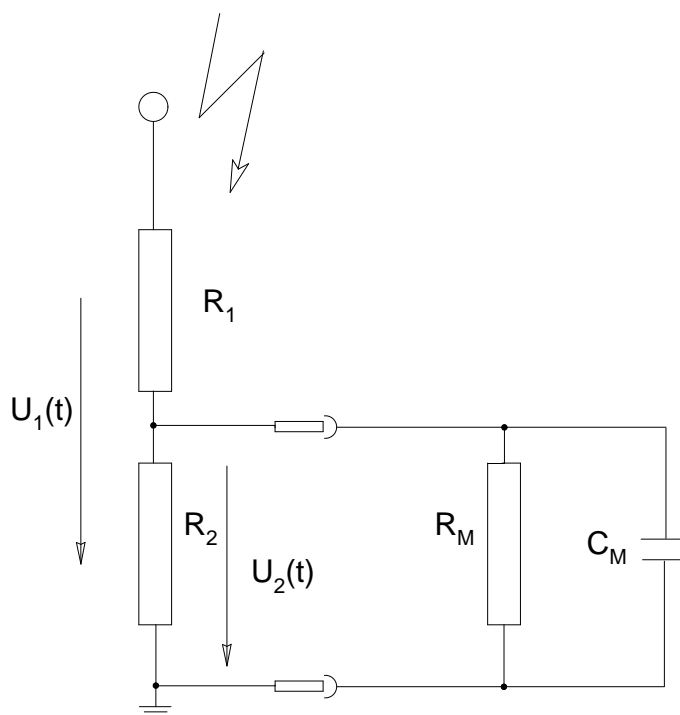


Рисунок 2.17 – Омический делитель напряжения

В случае с КМПУ схема подключения омического делителя напряжения осуществляется следующим образом (рисунок 2.18).

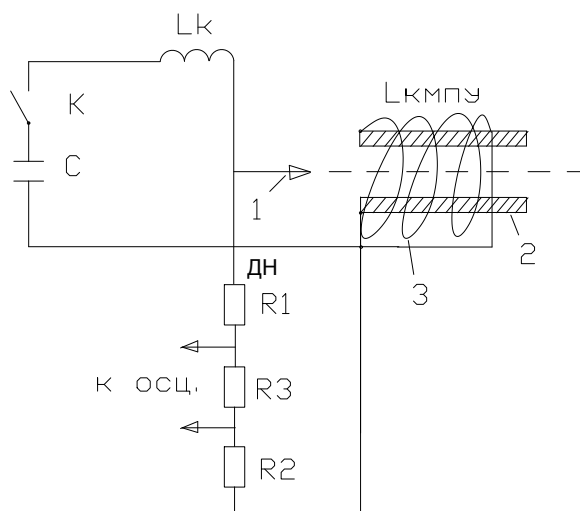


Рисунок 2.18 – Схема присоединения делителя напряжения к КМПУ

1 - центральный электрод, 2 - электрод-ствол, 3 - соленоид-индуктор, С - емкостной накопитель, К - ключ - коммутатор разрядного контура,  $L_k$  - собственная индуктивность разрядного контура,  $L_{КМПУ}$  - индуктивность соленоида, ДН - делитель напряжения

Параллельно низковольтной части делителя  $R_2$  подключается входное полное сопротивление измерительного устройства, вследствие чего величина передаточного отношения отклоняется от номинального. Для измерения импульсов напряжения с большой крутизной измеряемый сигнал от делителя напряжения подводится к осциллографу коаксиальным кабелем, к концу которого подключено волновое сопротивление.

Делитель ДН выполнен из малоиндуктивных резисторов ТВО. Номинал сопротивления делителя:

$R_{об}=64,016$  кОм - полное сопротивление;

$R_1=R_2=2$  и  $62$  кОм - высокоомные плечи;

$R_3=0,016$  Ом - низкоомное плечо

Исходя из номинальных значений сопротивлений делителя, коэффициент деления должен быть  $10^3$  (1:1000). Коэффициент деления ДН с учетом кабеля уточнялся экспериментально. Емкостной накопитель заряжался до  $U_{зар}=0,5 \div 5,0$  кВ. При разомкнутом разрядном контуре запускались разрядники и напряжение подавалось на ДН, подключенный к сборному коллектору в месте присоединения КМПУ. Сигнал с низкоомного плеча ДН осциллографировался.

## **2.9 Система защиты**

Система защиты предназначена для безопасного проведения работ, снижения риска возникновения аварийных режимов и их последствий. Устройства защиты включают электромагнитную блокировку (рисунок 2.19) и концевой выключатель.

Электромагнитная блокировка обеспечивает разряд емкостей накопителя через зарядные сопротивления в аварийных режимах и в

отключенном состоянии. Конструктивно электромагнитная блокировка представляет собой втягивающее реле и механическую контактную систему. Для контроля за положением контактов в устройстве электромагнитной блокировки использован концевой выключатель типа МП - 1 с нормально замкнутыми и нормально разомкнутыми контактами. Управление электромагнитной блокировкой и контроль за её состоянием обеспечивается с помощью пульта управления.

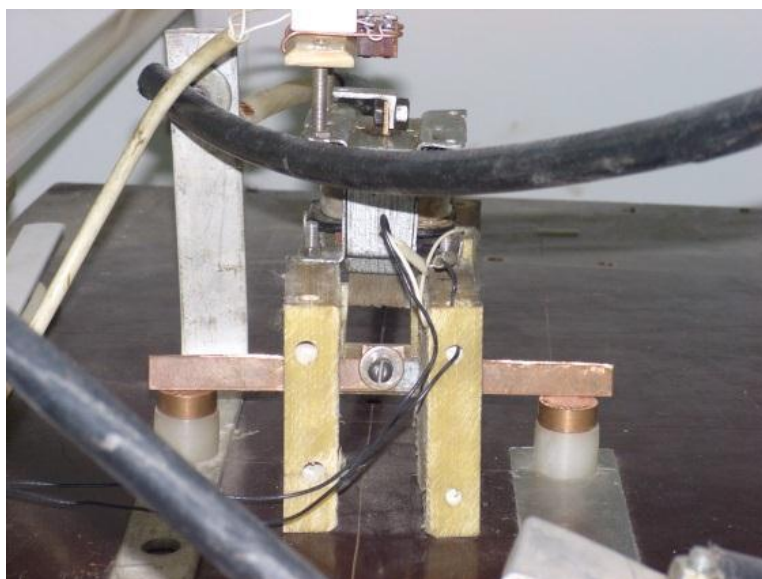


Рисунок 2.19 – Электромагнитная блокировка

Для обеспечения безопасности силовой стенд и операторная находятся в разных помещениях. Подача электропитания на стенд возможна только при закрытой двери, для чего на ней установлен концевой выключатель (рисунок 2.20а), контакты которого обеспечивают необходимую логику управления установкой с ПУ. При подаче питания на стенд, блок-контакты магнитного пускателя обеспечивают включение красной сигнальной лампы (рисунок 2.20б), расположенной над входной дверью помещения экспериментального стенда, и в самом помещении для оповещения находящегося там персонала.

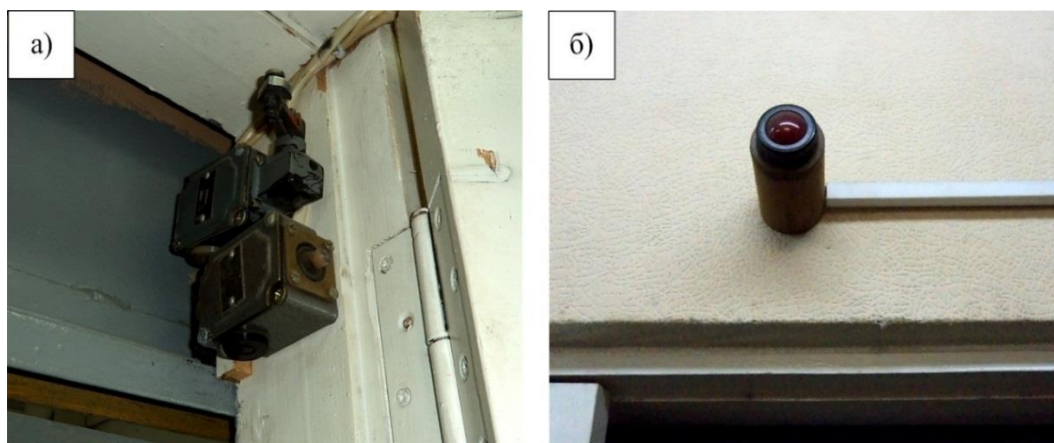


Рисунок 2.20 – а) Концевой выключатель; б) Сигнальная лампа

Также предусмотрена механическая блокировка – короткозамыкатель между выводами модулей конденсаторов, срабатывающий при открывании двери в помещение с силовой установкой (рисунок 2.21).



Рисунок 2.21 – Механическая блокировка

## **2.10 Взаимосвязь систем и устройств электроустановки силового стенда**

На основании представленных в разделе технических основ работы электроустановки на основе емкостного накопителя энергии можно составить схему взаимодействия основных частей и систем.

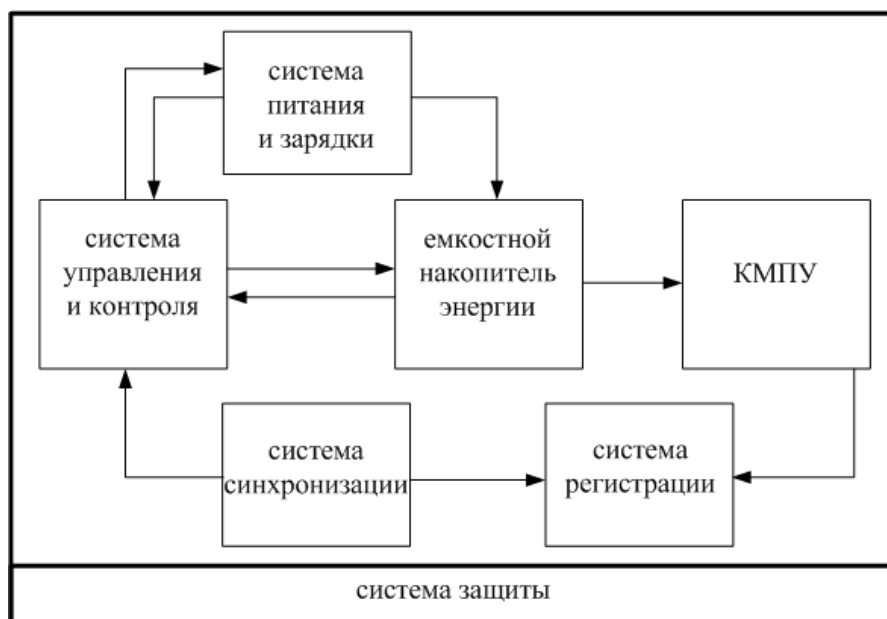


Рисунок 2.22 – Взаимосвязь систем и устройств электроустановки силового стенда

Кратко описать работу экспериментального стенда можно следующим образом. Основными процессами, связанными с работой экспериментального стенда, являются процессы зарядки и разрядки конденсаторных батарей ЕНЭ с максимальной накапливаемой энергией 360 кДж. Зарядка ЕНЭ осуществляется постоянным током, ограниченным до значения 5 мА блоком зарядных резисторов. Для получения постоянного высокого зарядного напряжения из напряжения трехфазной сети используются параллельно соединенные однофазные силовые трансформаторы и однофазный мостовой выпрямитель. Регулирование зарядного напряжения осуществляется тиристорным регулятором. Разрядка модулей ЕНЭ осуществляется посредством их коммутации с шинами сборного коллектора. Для данной цели служат индивидуальные импульсные игнитронные разрядники. Функцию управления разрядниками осуществляют четыре блока управления игнитронами (БУИ). Каждый из разрядников запускается посредством поджигающего высоковольтного импульса, формирующегося индивидуально для каждого разрядника с помощью импульсного трансформатора. Управляющий импульс на БУИ подается по коаксиальному кабелю от генератора импульсов.

Управление общей работой лабораторной установки (осуществление зарядки модулей накопителя, включение - снятие электромагнитной блокировки ЭБ, управление БУИ) осуществляется в пульте управления. Контроль зарядных напряжений и тока накопителя осуществляется пультом контроля. Для контроля зарядного тока модулей снимается сигнал с шунта  $R_{ш}$ . Контроль зарядных напряжений модулей осуществляется на основании сигналов, снимаемых с делителей напряжения.

Для синхронизации работы всей схемы лабораторной установки предназначен шестиканальный генератор задержанных импульсов ГИ-1 с цифровым отчетом. ГИ-1 является источником импульсов треугольной формы, задержанных относительно опорного (внешнего или внутреннего) на определенный интервал времени. Каждый выходной импульс имеет независимую регулировку величины задержки и отдельный выход.

Система регистрации включает в себя совокупность устройств, позволяющих определять величины токов и напряжений в течение проведения эксперимента. Измерение тока, протекающего через сборный коллектор и электроды КМПУ, осуществляется посредством особого измерительного устройства – трансформатора Роговского. Особенность трансформатора Роговского заключается в том, что с его помощью возможно снять сигнал, пропорциональный изменяющейся во времени производной тока. Принцип действия трансформатора основан на свойстве изменяющегося по времени тока  $i$  создавать магнитное поле, которое индуцирует в катушке, охватывающей токовую цепь, напряжение, пропорциональное изменению  $di_1/dt$ . Чтобы получить величину, пропорциональную току  $i$ , устанавливают интегрирующую RC-цепочку. Для измерения быстроизменяющегося напряжения на шинах магнитоплазменного ускорителя используются омические делители напряжения. Сигналы тока и напряжения осциллографируются.

Система защиты электроустановки позволяет предотвратить возникновение аварийных режимов работы и снизить их последствия. Она включает в себя электромагнитную блокировку, обеспечивающую разряд емкостей нако-

питателя через зарядные сопротивления в аварийных режимах и в отключенном состоянии, и концевой выключатель типа ВПК-11 для подачи электропитания на стенд только при закрытой двери. При подаче питания на стенд включается красная сигнальная лампа над входной дверью помещения силового стенда.

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

В настоящее время разработки в области нанотехнологий ведутся во всем мире практически во всех отраслях промышленности. Это мотивируется тем, что в условиях рыночной экономики применение наноматериалов уже на первом этапе их появления способно резко изменить свойства традиционных продуктов, а значит – сделать более конкурентоспособными даже хорошо известные товары.

В рамках работы необходимо произвести НТИ процесса коммутации тока и введения реагентов в плазму ускоряемого разряда.

Целью данного раздела является изучение коммерческого и инновационного потенциала, планирование, определение экономической и финансовой экономичности научно-технической разработки.

### **4.1 Коммерческий и инновационный потенциал НТИ**

Научное исследование осуществляется в лаборатории Магнитоплазменных технологий Национального исследовательского Томского политехнического университета. Данный метод синтеза основан на использовании коаксиального магнитоплазменного ускорителя. Это устройство предназначено для получения нанопорошков различных соединений.

Выделим основные этапы НТИ:

1. Инициация НТИ. На этом этапе производятся первоначальные исследования: определение необходимого типа ускорителя, его конструктивных параметров; определение первоначальных энергетических параметров питания ускорителя, так же приобретение исходных материалов.

2. Оптимизация метода синтеза. На данном этапе происходит исследование влияния условий эксперимента на синтезируемый материал. Таким образом, повышение характеристик продукта. В результате данного этапа необходимо получить серийный образец продукта, с которым можно выходить на рынок.



3. Оптимизация метода синтеза. На данном этапе происходит исследование влияния условий эксперимента на синтезируемый материал. Таким образом, повышение характеристик продукта. Решение задач, которые поставлены в проекте, будет происходить на базе оборудования, которое находится в 8 корпусе ТПУ.

Актуальность проекта заключается в том, что российский коммерческий рынок нанопорошков практически не развит. Об этом свидетельствует наличие единичных внедренных в производство проектов. Реальные объемы производства нанопорошков по оценке «Роснано» находится на уровне 3 тонн в год.

В реализации любых проектов необходимо учитывать факторы внешней среды. Рассмотрим факторы микросреды, к которым относятся анализ поставщиков, потенциальных покупателей и конкурентов.

*Поставщики:*

- ООО ПКФ «Графит Гарант Сервис», г. Челябинск – поставка графита;
- ООО «Промметалл», г. Томск – поставка меди: медные проволоки, медные шины.
- ЗАО «Кубаньжелдормаш», г. Армавир – меламин, технический углерод, аморфный бор.

*Потенциальные покупатели:*

- металлургическая отрасль – по оценке экспертов объем рынка в данном сегменте может составить до 50 млн. долл. Наиболее активные инвесторы – «Северсталь» и «Русал»;
- компании производители электронной аппаратуры.

*Конкуренты:*

В России производство нанодисперсного порошка карбида титана развито очень слабо. Основными конкурентами являются зарубежные фирмы:

- «American elements», США – является крупнейшим производителем перспективных материалов. Каталог компании включает более 15000 продуктов, в том числе наноразмерных порошков.

- «PlasmaChem GmbH», Германия – является исследовательской фирмой, специализирующейся в области наноматериалов. Важным направлением деятельности фирмы является разработка, производство и продажа новых наноматериалов.

Отметим факторы макросреды, влияющие на реализацию проекта:

- *Научно-технологические.* Бурное развитие нанотехнологий в последние годы, в связи с чем появилось множество способов синтеза нанопорошков;

- *Экономические.* Проблема рынка наноматериалов: высокая стоимость и низкие объемы производства;

- *Политические.* Отсутствие государственных программ по поддержке малых предприятий в области нанотехнологий;

- *Правовые.* Отсутствие правовой платформы для развития инфраструктуры наноиндустрии;

- *Социально-культурные.* Отсутствие просвещенности населения и отечественных фирм-производителей в области нанотехнологий.

Важным инструментом маркетингового исследования является SWOT-анализ. SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

На первом этапе опишем сильные и слабые стороны проекта, выявим возможности и угрозы для реализации проекта, которые могут проявиться во внешней среде.

На втором этапе выявим соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды и составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (приложение Б).

Таким образом, SWOT-анализ позволяет выявить наиболее важные проблемы, которые необходимо решить в процессе реализации проекта. В настоящее время российский рынок наноматериалов развит слабо, отсутствует

заинтересованность потенциальных потребителей, для преодоления этих проблем необходима государственная поддержка и привлечение высококвалифицированных специалистов в области экономики.

#### 4.2 Проектирование управления проектом

По результатам SWOT-анализа видно, что стратегия состоит из 3 этапов: тщательное изучение рынка наноматериалов, создание производственной линии и подготовка к первым продажам полученного продукта.

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

В рамках планирования научного проекта определим список работ, которые необходимо выполнить в процессе реализации проекта (Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Перечень работ

Код работы	Название	Длительность, дни	Трудовые ресурсы, чел.	Денежные ресурсы, тыс.руб.
А	Формирование команды	7	1	-
Б	Разработка проекта и исследование рынка	20	4	-
В	Составление бизнес-плана	10	4	-
Г	Работа с инвесторами и получение финансовых средств	15	2	-
Д	Аренда помещения	3	2	280
Е	Регистрация предприятия	20	2	2
Ж	Выбор и заказ оборудования	10	2	8257
З	Доставка оборудования	15	2	40

Код работы	Название	Длительность, дни	Трудовые ресурсы, чел.	Денежные ресурсы, тыс.руб.
И	Подготовка помещения и монтаж оборудования	7	3	125
К	Автоматизация системы	20	3	-
Л	Калибровка оборудования	7	2	-
М	Закупка материала	3	2	120
Н	Испытание технологической линии	10	3	-
О	Исследование и анализ продукта	10	2	50
П	Поиск потребителей	15	2	-
Р	Составление и заключение договоров	7	4	-

На основании данного списка работ построим сетевой график, диаграмму Ганта, гистограмму трудовых ресурсов (Приложение Г). Сетевой график представляет собой графическое изображение комплекса работ с установленными между ними взаимосвязями. Диаграмма Ганта отражает план и график работ по проекту. Гистограмма трудовых ресурсов показывает распределение трудовых ресурсов в течении времени.

Определим производственный план проекта. В основе заложена новая идея, то есть проект является инновационным. Наилучшим вариантом развития будет создание малого инновационного предприятия на базе ТПУ. Такое предприятие характеризовалось бы высоким инновационным потенциалом и стало бы связующим звеном между наукой и рынком наноматериалов.

Площадь арендуемого помещения будет около 42 м<sup>2</sup>. Единственное требование к помещению – пол должен быть на фундаменте здания, так как оборудование имеет большой вес. Определим состав основного оборудования.

Таблица 4.2 – Основное оборудование

№	Наименование	Количество ед.	Стоимость, тыс.руб./ед.
1	Импульсный конденсатор КПИ-5-240	120	62,4
2	Коаксиальный ускоритель	1	40
3	Осциллограф	2	92
4	Тиристорный ключ	20	2
5	Пульт управления	1	30
6	Элементы системы питания	1	30
7	Вакуумный насос	1	30
8	Силовой трансформатор	1	75
9	Прочее вспомогательное оборудование	1	100

Главная часть оборудования – импульсные конденсаторы. Планируется приобрести конденсаторы производства Холдиг «Энергия», имеющий представительство в городе Новосибирск. Конденсаторы КПИ-5-240 отличаются повышенным рабочим ресурсом – 1200000 циклов «заряд-разряд». Осциллографы, тиристорные пускатели, зарядное устройство и вакуумный насос планируется приобрести в г.Томск, так как такие устройства являются довольно распространенными. Коаксиальный ускоритель и пульт управления к нему будут сделаны в лаборатории Магнитоплазменных технологий.

Таблица 4.3 – Расходные материалы

Наименование	Кол-во, единица измерения	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Шина медная	5, кг	310	1550
Медные проволоки	20 шт	8	160
Графитовый войлок	1, кг	460	460

Наименование	Кол-во, единица измерения	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Меламин	1, кг	110	110
Бор аморфный	1, кг	1850	1850
Технический углерод	1, кг	700	700
Углеродные нити	1, кг	103	103
Всего за материалы			4993

*Норма амортизационных отчислений:*

Принимаем простую форму амортизации. С учетом срока полезного использования оборудования определим величину амортизационных отчислений за 1 год.

Таблица 4.4 – Величины амортизационных отчислений

№	Наименование	Кол-во* стоимость = цена, тыс.руб.	Срок полезного исп-я, год	Норма амортизации, тыс.руб./год
1	Импульсный конденсатор	120*62,4=7488	25	300
2	Коаксиальный ускоритель	1*40=40	5	8
3	Осциллограф	2*92=184	20	9,2
4	Тиристорный ключ	20*2=40	5	8
5	Пульт управления	1*50=50	20	2,5
6	Элементы системы питания	1*30=30	20	1,5
7	Вакуумный насос	1*30=30	2	15
8	Силовой трансформатор	1*75=75	25	3
9	Прочее оборудование	1*100=100	25	4

Срок полезного использования осциллографа, пульта управления, системы питания ограничены до 20 лет, ввиду возможного технического

прогресса, т.е. через 20 лет наверняка такого рода оборудование будет считаться устаревшим. При этом реальный срок службы этих агрегатов очень большой, так как они относятся к элементам современной полупроводниковой электроники, их срок службы составляет около 50 лет.

По проведенным расчетам, норма амортизации в первые 2 года составит 351,2 тыс.руб.

*Себестоимость производимого продукта:*

Определим суммарные издержки за 1 месяц. Примем, что за 1 рабочий день производим 1 кг общего продукта. Число рабочих дней в месяце принимаем как 21 день. Месячная производительность  $1 \cdot 21 = 21$  кг. продукта. Будем придерживаться 10 процентного увеличения продаж каждый год.

Таблица 4.5 – Суммарные издержки

№	Издержки	Цена, руб.
	Постоянные:	
1	Аренда помещения	40000
2	Амортизационные отчисления	29266
3	Отчисления в социальный фонд (30% от з/п)	19500
4	Общехозяйственные расходы	8000
	Переменные:	
1	Расходный материал	19950
2	Стоимость электроэнергии	8000
3	З/п персонала	1150000
4	Отчисления в социальный фонд (30% от з/п)	15000

Суммарные издержки за месяц составляют 254716 руб. Тогда себестоимость одного килограмма произведенного общего продукта составит  $254716/21=12129$  руб.

Как мы видим уровень себестоимости продукта очень низкая, рыночная стоимость 1 кг нанопорошка составляет порядка 100 тыс.руб. С учетом этого,

чтобы быстрее окупить большие капиталовложения в проект, установим цену 25 тыс.руб./кг.

В Приложении Д представлен производственный план проекта. Определены темпы роста производства нанопорошка и, следовательно, выручки от продажи продукции. В Приложении Е представлен бюджет проекта, с помощью которого определили суммарные необходимые инвестиции в проект.

### 4.3 Финансовая эффективность проекта

Таблица 4.6 – Расчет чистого потока дохода

№	Показатель	Значение показателей по шагам расчета, тыс.руб.				
		Год 0	Год 1	Год 2	Год 3	Год 4
1	Инвестиции	10169				
2	Выручка		6300	6950	7650	8425
3	Переменные затраты		2134	2348	2581	2839
4	Постоянные затраты		576	576	576	576
5	Прибыль до вычета налогов		3590	4026	4493	5010
6	Налоги и сборы		718	805,2	898,6	1002
7	Чистая прибыль		2872	3220,8	3594,4	4008
8	Амортизация		351,2	351,2	336,2	336,2
9	Чистый поток от операций, CFt		3223,2	3572	3930,6	4344,2

Основные финансовые показатели для оценки инвестиций:

1. NPV – чистый дисконтированный доход:



$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{ЧД_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{(1+r)^i} = 991 \text{ тыс. руб.}, \quad (4.1)$$

где ЧД<sub>i</sub> – чистый доход i-го года;

К<sub>i</sub> – объем инвестиций по годам реализации проекта;

n – срок реализации проекта;

r – номер дисконта, принимаем 0,125 равной ключевой ставке Центрального Банка РФ.

2. PI – индекс доходности:

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{ЧД_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{K_i}{(1+r)^i}} = 1,1 \quad (4.2)$$

3. T<sub>ок</sub> – дисконтируемый срок окупаемости:

$$NPV_0 = -10169 \text{ тыс. руб.};$$

$$NPV_1 = -7303,9 \text{ тыс. руб.};$$

$$NPV_2 = -4481,6 \text{ тыс. руб.};$$

$$NPV_3 = -1721 \text{ тыс. руб.};$$

$$NPV_4 = 991 \text{ тыс. руб.};$$

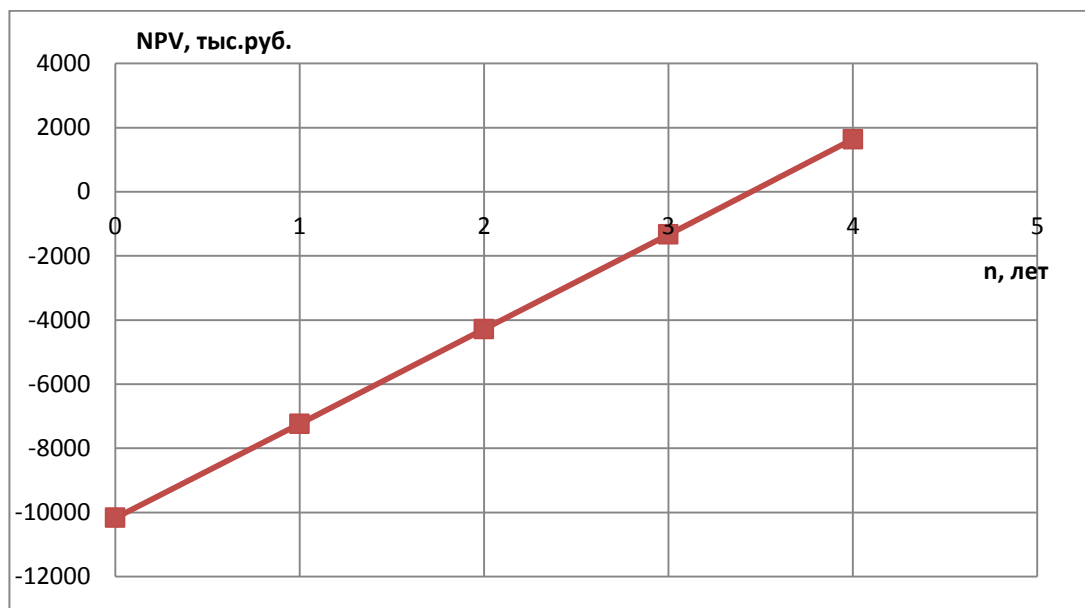


Рисунок 4.1 – Срок окупаемости

Дисконтируемый срок окупаемости составляет примерно 3 года 7 месяцев.

4. IRR – внутренняя норма доходности:

$$\text{IRR} = r \text{ при } \text{NPV} = 0;$$

$$\text{NPV}_{r=0,1} = 1633,5 \text{ тыс.руб.};$$

$$\text{NPV}_{r=0,15} = 402,9 \text{ тыс.руб.};$$

$$\text{NPV}_{r=0,2} = -633 \text{ тыс.руб.}$$

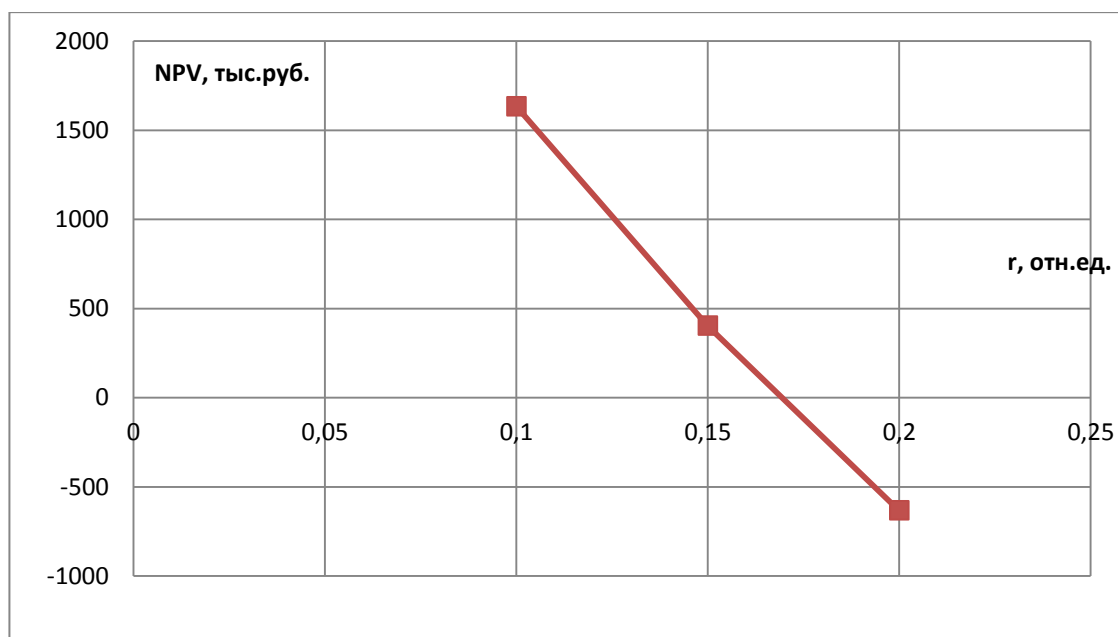


Рисунок 4.2 – Внутренняя норма доходности

$$\text{IRR} = 17 \%$$

#### 4.4 Оценка рисков проекта

Проведем оценку рисков, которым может подвергнуться исполнение проекта создания производства нанодисперсного карбида титана.

Оценка рисков разбивается условно на 3 этапа:

- 1 этап – формирование дерева рисков;
- 2 этап – формовка базовых параметров для рисков;
- 3 этап – мероприятия по устранению.

1. Дерево рисков:

*Социальные:*

- несоблюдение техники безопасности;

- отсутствие корпоративных стандартов;
- низкая квалификация персонала;
- инертность российской промышленности в отношении передовых технологий.

*Экономические:*

- инфляция;
- недобросовестные поставщики;
- непредвиденные расходы;
- низкие объемы производства;
- снижение уровня спроса;

*Технологические:*

- опасность повреждения оборудования при транспортировке;
- опасность повреждения оборудования при монтаже;
- возможность поломки оборудования;
- низкое качество поставленного оборудования;
- неправильная сборка оборудования.

*Политические:*

- снижение поддержки со стороны государства;
- смена власти;
- нарушение действующих нормативных актов и стандартов.

*Научно-технические:*

- развитие конкурентных технологий;
- создание новых методов синтеза;
- материал не соответствует заявленным свойствам.

## 2. Оценка важности рисков:

При оценке важности рисков оценивается вероятность их наступления.

По шкале от 0 до 100 процентов:

100 – наступит точно;

75 – скорее всего наступит;

- 50 – ситуация неопределенности;
- 25 – риск скорее всего не наступит;
- 0 – риск не наступит.

Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом ( $w_i$ ). Важность оценивается по 10 – бальной шкале  $b_i$ .

Внутри каждой группы оценка идет от простого к сложному. Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице [47].

Таблица 4.7 – Социальные риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i * w_i$
1	Несоблюдение техники безопасности	25	6	0,285	7,125
2	Отсутствие корпоративных стандартов	75	1	0,047	3,525
3	Низкая квалификация персонала	25	8	0,38	9,5
4	Инертность российской промышленности в отношении передовых технологий	75	6	0,285	21,375
	Сумма		21	1	41,525

Таблица 4.8 – Экономические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i * w_i$
1	Инфляция	100	2	0,071	7,1
2	Недобросовестные поставщики	50	5	0,178	8,9
3	Непредвиденные расходы	75	4	0,142	10,65
4	Низкие объемы сбыта	25	9	0,321	8,025
5	Снижение уровня спроса	25	8	0,285	7,125
	Сумма		28	1	41,8

Таблица 4.9 – Технологические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i * w_i$
1	Опасность повреждения оборудования при транспортировке	25	7	0,218	5,45

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i * w_i$
2	Опасность повреждения оборудования при монтаже	25	7	0,218	5,45
3	Возможность поломки оборудования	25	9	0,281	7,025
4	Низкое качество поставленного оборудования	25	6	0,187	4,675
5	Неправильная сборка оборудования	50	3	0,093	4,65
	Сумма		32	1	27,25

Таблица 4.10 – Политические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i * w_i$
1	Снижение поддержки со стороны государства	25	8	0,444	11,1
2	Смена власти	0	3	0,166	0
3	Нарушение действующих нормативных актов и стандартов	0	7	0,388	0
	Сумма		18	1	11,1

Таблица 4.11 – Научно-технические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i * w_i$
1	Развитие конкурентных технологий	75	7	0,291	28,825
2	Создание новых методов синтеза	50	7	0,291	14,55
3	Материал не соответствует заявленным свойствам	25	10	0,416	10,4
	Сумма		24	1	53,775

Таблица 4.12 – Общие риски

№ п/п	Риски	Ранг ( $P_i$ )	Вес ( $W_i$ )	Вероятность ( $v_i$ )	Общая оценка проекта ( $W_i * v_i$ )
1	Социальные	4	0,117	41,525	4,858
2	Экономические	8	0,25	41,8	10,45

№ п/п	Риски	Ранг (Pi)	Вес (Wi)	Вероятность (vi)	Общая оценка проекта (Wi*vi)
3	Технологические	9	0,264	27,25	7,194
4	Политические	4	0,117	11,1	1,298
5	Научно-технические	9	0,264	53,775	14,196
Итого		34			37,996

Расчет рисков дает общую оценку в **37,996**. Эта цифра говорит, что проект имеет право на жизнь, хотя и не лишен вероятных препятствий. Оценка отдельных групп риска (с наиболее высокими показателями, в особенности научно-технические и технологические) будет учтена на подготовительном этапе, чтобы по возможности снизить их отрицательное влияние на проект в целом.

3. Мероприятия по снижению возможных рисков при сооружении проекта:

*Социальные:*

Несоблюдение техники безопасности – применять плакаты и таблички при проведении работ, составить правила по технике безопасности, ведение журнала по технике безопасности.

Отсутствие корпоративных стандартов – составить общие правила для персонала.

Низкая квалификация персонала – произвести тщательный подбор персонала.

Инертность российской промышленности в отношении передовых технологий – провести презентации и показы, с целью доказательства эффективности и превосходства нашего материала.

*Экономические:*

Инфляция – заранее просчитать все расходы с учетом инфляции и может даже с запасом.

Недобросовестные поставщики – нужно выбрать добросовестных и проверенных поставщиков.

Непредвиденные расходы – закладка в бюджет непредвиденных расходов.

Низкие объемы производства - в среднесрочном плане, при нехватке производственных мощностей, планируется увеличить площади производства 2-3 раза.

Снижение уровня спроса – производить активную рекламную кампанию.

*Технологические:*

Опасность повреждения оборудования при транспортировке – при транспортировке оборудования выбрать проверенных перевозчиков.

Опасность повреждения оборудования при монтаже – сделать план размещения оборудования, провести тщательную подготовку перед монтажом.

Возможность поломки оборудования – заказать оборудование у известных фирм-производителей, регулярно следить за бережным отношением к оборудованию при эксплуатации.

Низкое качество поставленного оборудования – заказать оборудование у известных фирм-производителей.

Неправильная сборка оборудования – заранее сделать схемы соединений между частями оборудования, провести проверку соединений после сборки.

*Политические:*

Снижение поддержки со стороны государства – скорее всего очень маловероятно, поскольку развитие nanoиндустрии в России является одним из приоритетных направлений развития науки и техники.

Смена власти – скорее всего очень маловероятно.

Нарушение действующих нормативных актов и стандартов – назначить ответственного за соблюдение всех правил.

*Научно-технические:*

Развитие конкурентных технологий – постоянно искать пути оптимизации технологии.

Создание новых методов синтеза – постоянно искать пути оптимизации технологии.

Материал не соответствует заявленным свойствам – при производстве на новом запущенном оборудовании произвести тщательный анализ получаемого порошка различными методами.

Данный проект подвержен рискам, однако если относиться к выполнению работ добросовестно, то большинство из них исключено. Социальные риски легко устранимы при должном выполнении всех намеченных мероприятий. Политические риски в основном в принципе не возможны. Технические риски можно избежать, если относиться к выбору поставщиков добросовестней, а также внимательно следить за условиями труда рабочих, и самим технологическим процессом. Экономические же риски можно преодолеть заранее к ним подготовившись – грамотно оценить рентабельность проекта, оправданность и сумму вкладываемых средств. Научно-технические риски преодолеваются путем постоянной оптимизации технологии. Исходя из всего вышеперечисленного, можно смело утверждать, что проект можно воплотить в жизнь.

В данной главе была поставлена цель изучения коммерческого потенциала НТИ. Был проведен следующие работы: определены факторы макро- и микросреды, составлен SWOT-анализ, разработаны календарный, производственный и финансовый план, составлен бюджет на запуск проекта, оценена экономическая эффективность проекта. В результате при величине инвестиций 10169 тыс. рублей срок окупаемости составляет 3,5 года. В дальнейшем доход компании будет составлять 4-5 млн. рублей в год.