

**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 источников возбуждения газовых активных сред

УДК: 621.311.6:621.373.826.038.823

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Таратушкина Валерия Владимировна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Тригуб Максим Викторович	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.экон.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД ИШНКБ	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 ПО ООП

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	Таратушкина Валерия Владимировна

Тема работы:

Разработка источников возбуждения газовых активных сред	
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 Обзор литературы 2 Разработка принципиальной схемы системы защиты источника накачки 3 Разработка модифицированной схемы разрядного контура 4 Разработка источника возбуждения активной среды цезиевой лампы 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6 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:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОМ ИШНПТ	Тригуб Максим Викторович	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4Т41	Таратушкина Валерия Владимировна		

**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)
01/04/2017	Литературный обзор	20
01/05/2017	Расчетно-конструкторская часть	35
29/05/17	Экспериментальная часть	35
15/05/17	Финансовый менеджмент	5
15/05/17	Социальная ответственность	5
		<i>Сумма: 100 баллов</i>

Составил руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Тригуб Максим Викторович	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., 21 рис., 22 табл., 14 источников, 0 прил.

Ключевые слова: CuBr-лазер, источник питания CuBr-лазера, система защиты источника накачки, лазерный монитор, фильтрация изображений.

Объектом исследования является (ются) источник накачки CuBr-лазера, схема его запуска.

Цель работы – оптимизация источника накачки CuBr-лазера, а так же модификация схемы его запуска.

В процессе исследования проводились эксперименты, в ходе которых исследовались параметры 4 различных схем разрядного контура

В результате исследования Была произведена оптимизация схемы источника накачки CuBr-лазера и разработана схема защиты источника от скачков тока и от «сквозных» токов. Была произведена модификация схемы запуска. Путем незначительных изменений в схеме разрядного контура практический КПД увеличился до 1,6%.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Накопительная емкость представляет собой два последовательно соединенных конденсатора КВИ-3, с емкостью 1500 пФ (полная рабочая емкость составляет 750 пФ). В качестве силовых ключей инвертора используются транзисторы IRGPS60B120KD. Частота работы инвертора составляет 12,5 кГц. Тиратрон ТГИ 500/16 работает с частотой 25 кГц.

Степень внедрения: Лабораторный макет

Область применения: в лаборатории квантовой электроники

Экономическая эффективность/значимость работы При экономической оценке проекта было показано, что он способен составить хорошую конкуренцию имеющимся аналогам

В будущем планируется: увеличение эффективности возбуждения CuBr-лазера

## Содержание

Введение.....	8
1 Обзор литературы .....	9
2 Разработка принципиальной схемы системы защиты источника накачки ..	16
2.1 Система защиты от скачков тока. ....	16
2.2 Система защиты от «сквозных» токов.....	22
3 Разработка модифицированной схемы разрядного контура .....	24
4 Разработка источника возбуждения активной среды цезиевой лампы .....	33
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	37
6 Социальная ответственность.....	61
Заключение .....	83
Список использованных источников .....	84

## Введение

С развитием технологий становятся востребованными новые средства и методы диагностики и исследования процессов. В частности, исследование процессов, имеющих малые размеры области воздействия, высокую скорость протекания и экранирующую засветку, требует использования новых методов визуально-оптического контроля. Одним из таких методов является использование активных оптических систем с усилителями яркости, в частности – лазерного монитора [1, 2]. Регистрация быстропротекающих процессов, экранированных от наблюдателя широкополосной фоновой засветкой, возможна с использованием систем с усилителями яркости на парах металлов и их галогенидов [1-4]. АОС позволяют проводить скоростную видеорегистрацию процесса, причем временное разрешение определяется как видеорегистратором, так и усилителем яркости. В настоящее время скоростные регистраторы (CCD камеры и CMOS камеры) позволяют производить съемку с очень высоким временным разрешением, что дает возможность диагностики процессов с наносекундными характерными временами.

В качестве источника когерентного излучения в системе лазерного монитора используется лазер на парах бромида меди.

Целью настоящей работы является оптимизация источника накачки CuBr-лазера, а так же модификация схемы его запуска. Необходимо проанализировать принцип накачки данного лазера и саму схему источника, выявить проблемы и разработать пути их решения. Работа так же направлена на поиск альтернативной газовой среды для возбуждения.



## 1 Обзор литературы

Лазеры, работающие на переходах между возбужденными уровнями ионов благородных газов, характеризуются весьма высокими плотностями тока, которые необходимы для достижения порога генерации. Для этого нужно поддерживать высокий уровень ионизации газа. Создание инверсной населенности в ионном газовом лазере является двухступенчатым процессом, он заселяется в результате двух последовательных столкновений атома с электронами разряда. Первое столкновение ионизует атом, второе — возбуждает ион. Эффективность каждого из процессов пропорциональна току разряда. И, следовательно, эффективность возбуждения в целом, как минимум, пропорциональна квадрату тока разряда. А значит, для достижения заметной инверсии требуется создать высокую плотность тока [5].

Энергетический спектр газа точно соответствует разностям энергетических уровней отдельных атомов и молекул, это сильно отличает его от спектра твердого тела. И данное свойство газов позволяет предсказать возможные схемы энергетических переходов в различных газовых средах.

Еще одной особенностью газов является их высокая оптическая однородность. Свет в газе практически не рассеивается из-за малой плотности газа, и луч света не искажается. Благодаря этому свойству расстояние между зеркалами в газовых лазерах может быть большим. Поэтому с помощью такого лазера легко получить монохроматичное излучение с высокой направленностью.

Наряду с достоинствами газовая рабочая среда так же обладает и рядом недостатков: как говорилось выше, плотность газа невелика, и получить такое же большое количество возбужденных атомов, излучающих свет в единице объема как в твердом теле – нельзя. Поэтому даже газовые лазеры, имеющие большие размеры пока не дают возможности получать такие же высокие импульсные мощности, как и в твердотельных лазерах.

Из газоразрядных лазеров, нашедших широкое применение в различных областях науки и техники, следует выделить и лазеры на самоограниченных переходах, в которых в качестве активных излучателей используются молекулы азота и атомы меди.

Самоограниченным называется переход, где первый возбужденный резонансный уровень активного центра является верхним рабочим уровнем, а метастабильный уровень служит нижним. Из-за метастабильности уровня невозможно его радиационное очищение. И несмотря на то, что первый резонансный уровень обладает, как правило, большим сечением электронного возбуждения в разряде, она не позволяет реализовать стационарную инверсию заселенности на таких переходах. На них возможна импульсная генерация: она может происходить в начале импульса возбуждения, когда скорость релаксации нижнего уровня небольшая, а существенно отношение скорости заселения рабочих уровней. Поскольку длительность генерации ограничена в данном случае свойствами самого перехода, то такие переходы и называются самоограниченными.

Отношение скоростей заселения рабочих уровней в случае таких переходов является особенно благоприятным, причем именно благодаря метастабильности нижнего рабочего уровня. Сечение возбуждения электронами по оптически разрешенным переходам, как правило, много больше, чем по запрещенным переходам. Поэтому вероятность электронного возбуждения верхнего рабочего (первого резонансного) уровня является намного более высокой, чем вероятность возбуждения нижнего рабочего (метастабильного) уровня. В следствие лазеры, работающие на основе самоограниченных переходов, отличаются весьма высокими значениями коэффициента усиления. Благодаря этому обстоятельству указанные лазеры могут работать в режиме сверхсветимости, т.е. без использования зеркал резонатора или же с одним зеркалом. Если инверсия заселенности достаточно велика и порог самовозбуждения лазера сильно перевыполнен, то возникает генерация. Индуцированное излучение переводит частицы с

верхнего уровня на нижний, что в свою очередь приводит к исчезновению инверсии заселенности и прекращению генерации. По прекращении данного процесса инверсная заселенность восстанавливается не сразу, потому что нижний лазерный уровень все еще остается заселенным в течение длительного времени.

Рассмотрим структуру атома меди, как наиболее эффективного лазера для использования в задачах визуализации и фильтрации изображений, работающего в видимой области спектра. Упрощенная схема лазерных уровней атома меди показана на рисунке 1.

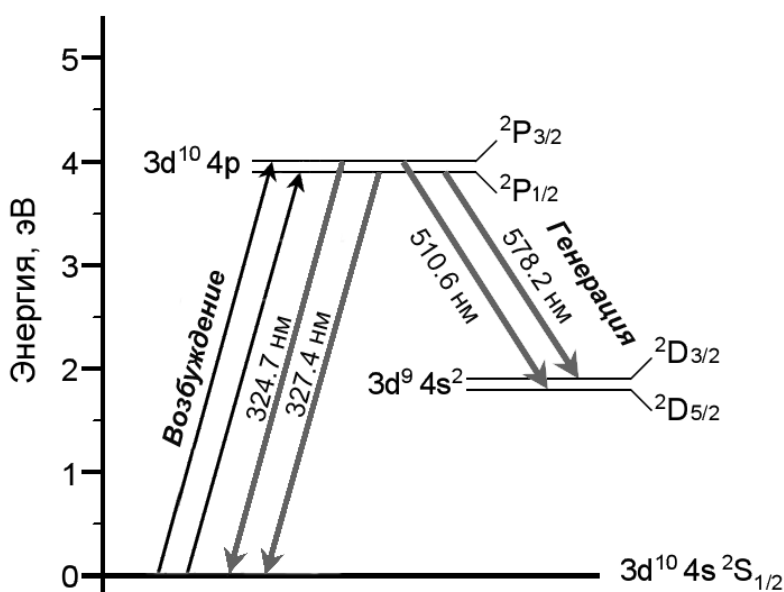


Рисунок 1 – схема уровней атомов меди

Для того, чтобы реализовать инверсию на самоограниченных переходах  $^2P_{3/2} - ^2D_{5/2}$  ( $\lambda_1 = 510.6$  нм) и  $^2P_{1/2} - ^2D_{3/2}$  ( $\lambda_2 = 578.2$  нм) необходимо создать условие ионизационной неравновесности плазмы. В этот период времени константы скоростей возбуждения нижних лазерных уровней меньше, чем верхних, так как температура электронов  $T_e$  на переднем фронте импульса накачки (~100 нс) высока. Скорость распада нижнего уровня мала, в следствие этого населенность на нем постепенно становится больше, и инверсия пропадает. Типичная длительность импульса генерации составляет около 30-50 нс, а диапазон типичных частот следования импульсов –

единицы-десятки кГц. В межимпульсный период (до прихода следующего импульса возбуждения) основные параметры плазмы – температура и концентрация электронов ( $T_e$ ,  $n_e$ ), населенность основного, метастабильного и резонансного уровней ( $N_0$ ,  $N_m$ ,  $N_r$ ) – восстанавливаются до первоначальных условий. При достаточно высоких вводимых мощностях и частотах следования импульсов активная среда не успевает полностью восстановиться до прихода следующего импульса возбуждения. Поэтому в импульсно-периодическом режиме возникают кумулятивные эффекты, которые определяются, прежде всего, ЧСИ и энергией в импульсах накачки.

Источник накачки является одним из необходимых компонентов любого лазера. Большинство источников для газовых лазеров, в частности для лазера на парах бромида меди, создаются на основе газоразрядных коммутаторов, таких как тиратрон, модуляторные лампы или таситрон [6]. Так же применяются схемы с использованием полупроводниковых ключевых элементов, например: схемы с параллельным соединением типовых ячеек на основе MOSFET, либо IGBT -транзисторов, а так же схемы с использованием магнитной компрессии. [7]

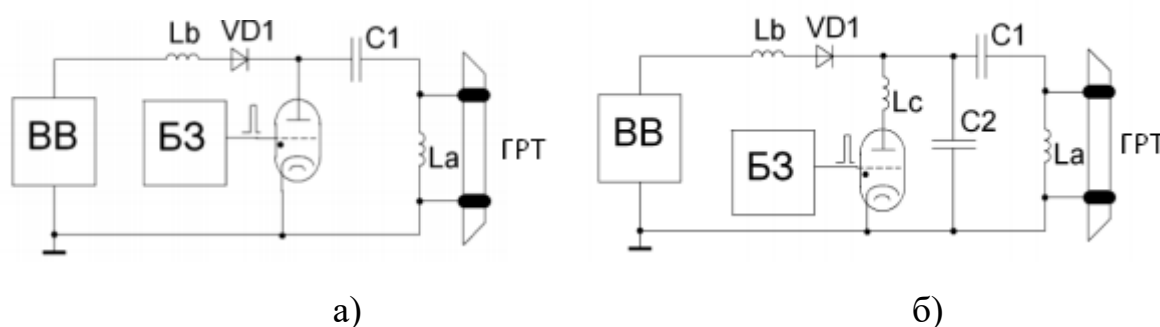
Во время разработки источника накачки особое внимание уделяется фронту импульса напряжения, т. к. если фронт будет более крутым, то и заселение резонансного уровня по отношению к нижнему метастабильному будет более эффективным. Если же фронт будет «затянут», то заселяться, главным образом, будут метастабильные (нижние рабочие) уровни, что приведет к тому, что эффективность и мощность генерации снизятся [6].

Однако на данный момент не существует ключевых элементов, которые смогли бы обеспечить коммутацию напряжений порядка 10 кВ с крутым фронтом нарастания тока. [8]. Для маломощных лазеров на парах металлов можно применять полупроводниковые коммутаторы, однако общее количество элементов получается большим, поэтому и суммарная стоимость тоже будет высокой. Поэтому разработка источников накачки с

использованием газонаполненных коммутаторов остается актуальной задачей.

Примерами традиционных схемных решений являются схема прямого разряда накопительной емкости, показанная на рисунке 2а, и схема удвоения напряжения Блюмляйна, показанная на рисунке 2б, которая в свою очередь позволяет получить на газоразрядной трубке (ГРТ) удвоенное напряжение. При помощи данных схем возможно получать достаточно большие мощности генерации. Так же они просты в реализации. [6]

Однако при данных схемотехнических решениях к коммутирующему элементу (например, к тиратрону) высокое напряжение приложено постоянно, это снижает его срок службы, который приблизительно равен 1000 часов. И главный недостаток схем такого типа.



ВВ – источник высокого напряжения, БЗ-блок запуска тиратрона, ГРТ – газоразрядная трубка.

Рисунок 2 – Схема прямого разряда накопительного конденсатора (а) и схема удвоения напряжения Блюмляйна (б).

В данной работе описывается оптимизация схемы накачки лазера прямого разряда накопительного конденсатора, принципиальная схема, показанная на рисунке 3.

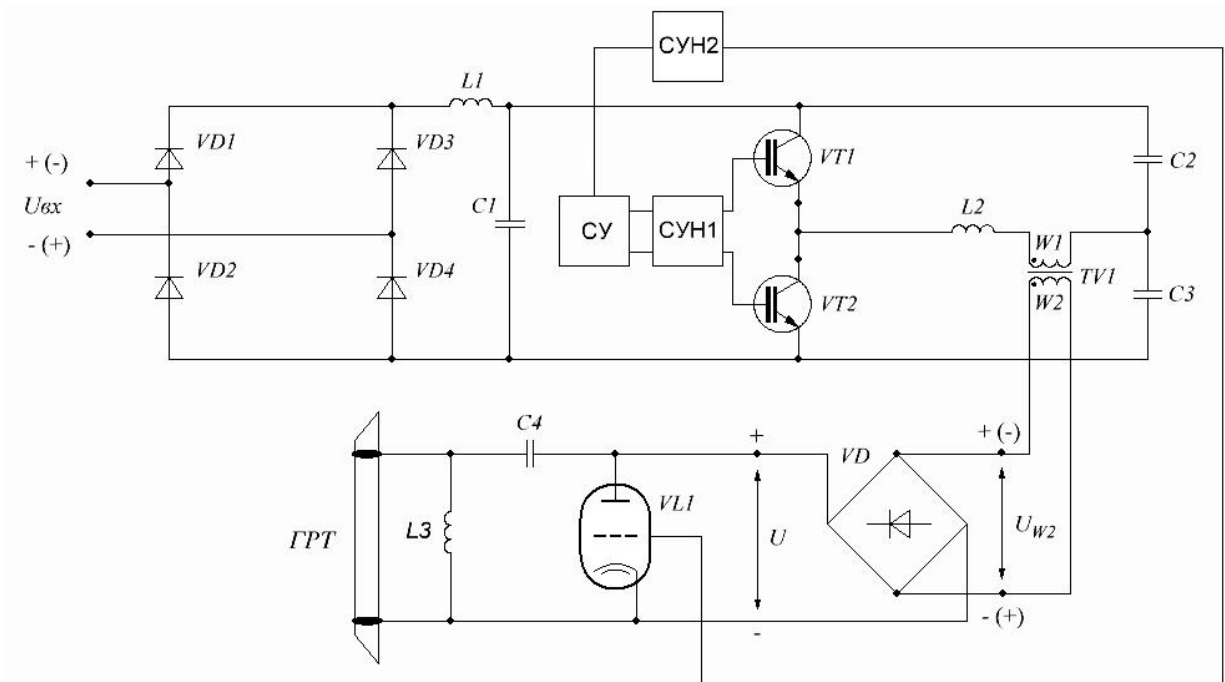


Рисунок 3 – Принципиальная схема источника накачки CuBr-лазера

Источник питания представляет собой полумостовой инвертор, выполненный на мощных IGBT или MOSFET элементах, обеспечивающий заряд накопительного конденсатора по гармоническому закону.

Сетевое напряжение выпрямляется и подается на конденсатор C1, к которому подключен силовой модуль. В этом модуле содержится два полупроводниковых ключа (VT1 и VT2), а так же конденсаторный делитель (C2 и C3). Нагрузка подключена к общим точкам ключей и конденсаторного делителя.

При помощи модуля управления транзисторные ключи VT1 и VT2 закрываются и открываются попеременно с заданной частотой, подключая связанный с ними конец нагрузки поочередно то к верхней, то к нижней шине питания. В результате чего на нагрузке имеем переменное напряжение, амплитуда которого равна половине амплитуды напряжения питания.

В качестве нагрузки используется газоразрядная трубка (ГРТ), диаметр которой составляет 25 мм, а длина активной зоны 400 мм. Накопительная емкость представляет собой два последовательно

соединенных конденсатора КВИ-3, с емкостью 1500 пФ (полная рабочая емкость составляет 750 пФ). В качестве силовых ключей инвертора используются транзисторы IRG60B120KD. Частота работы инвертора составляет 12,5 кГц. Тиратрон ТГИ 500/16 работает с частотой 25 кГц. Высоковольтный трансформатор выполнен на двух ферритовых кольцах, диаметр которых равен 125 мм, и находится в резервуаре с маслом, чтобы обеспечить эффективное охлаждение и защиту от пробоя. В первичной обмотке трансформатора содержится 30 витков, а вторичная разделена на шесть последовательно соединенных секций по 200 витков каждая. Высоковольтный выпрямитель выполнен из 60 высокочастотных диодов. Управление источником осуществляется с помощью двух тумблеров (один запускает управление и накал, второй включает высокого напряжения) и переменного резистора для регулировки напряжения на входном выпрямителе. Так же предусмотрена регулировка частоты следования импульсов, чтобы можно было работать на газоразрядной трубке с внешними электродами. Контроль входных параметров осуществляется с помощью встроенных на передней панели вольтметра и амперметра. Для защиты от помех блок питания и схемы управления помещены в металлический корпус [8].

## 2 Разработка принципиальной схемы системы защиты источника накачки

В ходе изучения источника накачки лазера на парах бромида меди было установлено, что транзисторные ключи VT1 и VT2 в полумостовом инверторе являются наиболее уязвимыми элементами в схеме.

Вывести из строя транзисторы может большой скачок тока, когда, например, не закрылся тиратрон. После прохождения коммутации накопительной емкости на газоразрядную трубку, тиратрон должен восстановить свою электрическую прочность («закрыться»). Процесс релаксации должен закончиться к моменту, когда ключ полумостового инвертора откроется. Если это не произойдет, инвертор будет нагружен и это приведет к скачку тока.

Так же нужно учитывать, что работать ключи VT1 и VT2 в полумостовом инверторе должны согласовано, то есть они должны открываться и закрываться попеременно и никогда не должны быть полностью открыты одновременно. Это необходимо для устранения так называемых «сквозных токов», текущих через оба открытых ключа, минуя нагрузку, что так же приводит к выгоранию транзисторов.

Для оптимизации работы источника накачки лазера на парах бромида меди следует устранить описанные выше проблемы. Для этого необходимо создать систему защиты источника от скачков тока и сквозных токов.

### 2.1 Система защиты от скачков тока

Разработанная структурная схема системы защиты от скачков тока показана на рисунке 4.



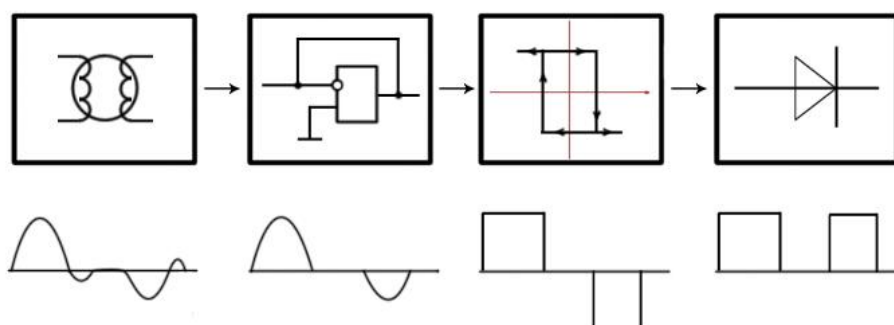


Рисунок 4 – Структурная схема системы защиты от скачков тока

Принцип действия системы защиты заключается в следующем: сигнал снимается датчиком тока и масштабируется на операционном усилителе, на выходе компаратора имеем сигнал, который задает пороги переключения схемы. То есть задается момент, при котором схема отключается.

В качестве датчика тока можно использовать шунт или пояс Роговского. Однако шунт, для включения в цепь, требует её непосредственного разрыва, а пояс Роговского в свою очередь является бесконтактным методом измерения.

Он представляет собой многovitковый соленоид, свернутый в тор, который охватывает измеряемый ток. Основные его преимущества заключается в следующем:

- Результат измерений не зависит ни от конфигурации пояса, ни от формы поперечного сечения. Важно лишь то, что он топологически эквивалентен тору
- Допускаются самые различные расположения пояса относительно измеряемого тока
- Бесконтактный метод
- Простота расчетов

Выходное напряжение, будучи проинтегрированным по времени, с точностью до константы соответствует току в измеряемой цепи.

Получить напряжение  $U_M(t)$ , пропорциональное току  $i_I(t)$  можно при помощи пассивной схемы, состоящей из LR или RC контура, если  $i_2(t) \ll i_1(t)$ . При интегрировании RL-цепочкой катушка присоединяется к сопротивлению R. Если соблюдается условие  $\omega L \gg (R + R_s)$ , где  $R_s$  – сопротивление катушки, то ток в RL-цепочке будет определяться индуктивным сопротивлением. При интегрировании RC-цепочкой должно соблюдаться условие  $1/\omega_H C \ll R$  и  $\omega_B L \ll R$ .

В качестве датчика тока был выбран и изготовлен пояс Роговского, с параметрами

$D=34$  мм – внешний диаметр

$d=12$  мм – внутренний диаметр;

Коэффициент трансформации

$$\eta_{14} = \frac{N_2}{N_1} = 14 \quad (1)$$

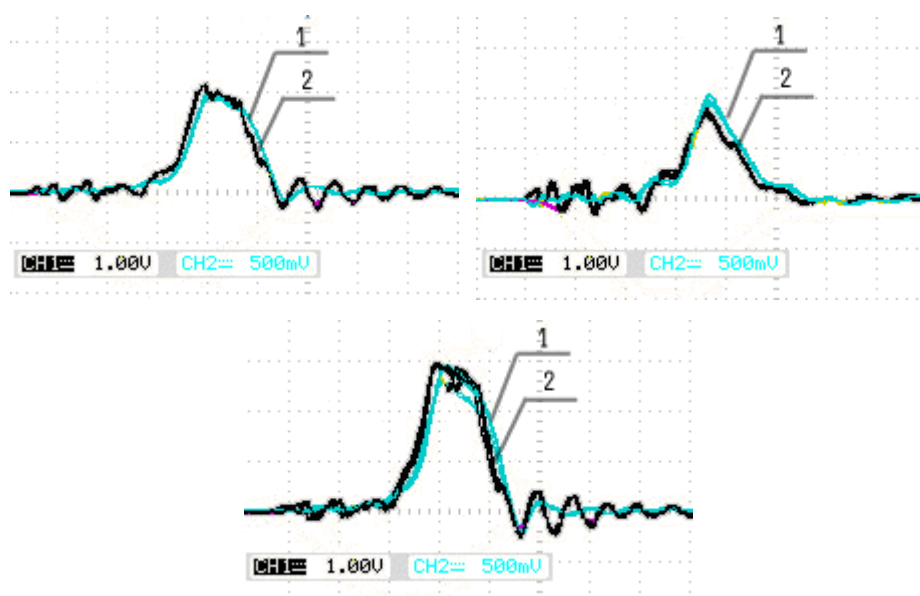
Где  $N_1$  – число витков на 1-ой обмотке,  $N_2$  – число витков на 2-ой обмотке.

Индуктивность

$$L_{14} = \frac{\mu_0 \mu N_1 N_2 S}{D} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2000 \cdot 14 \cdot 12 \cdot \pi}{34} = 39 \text{ мГн} \quad (2)$$

Где S – площадь поперечного сечения пояса Роговского

Оцилограммы, полученные при его калибровке представлены на рисунке 5.



1 - сигнал с пояса Роговского; 2 – известный сигнал

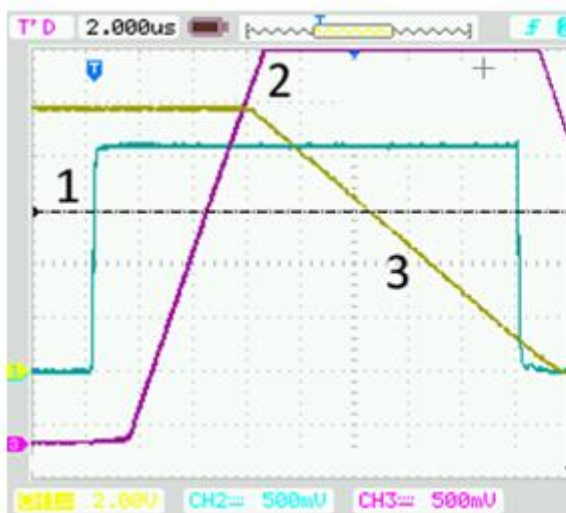
Рисунок 5 – Показания с осциллографа при калибровке пояса Роговского

Для масштабирования сигнала в схему необходимо включить компаратор. Однако, при включении в схему простейшего компаратора при подаче на вход усилителя зашумленного сигнала, на выходе наблюдаются многократные переключения напряжения, что приводит к некорректной работе системы защиты. Чтобы не допускать подобных колебаний используется компаратор с положительной обратной связью (триггер Шмидта). Часть выходного сигнала с операционного усилителя подается на неинвертирующий вход и задает пороги переключения схемы. При превышении напряжения срабатывания на выходе появляется минус напряжения питания, если значение будет ниже напряжения отпускания — плюс, а в промежутке между линиями система сохраняет своё состояние. Напряжение на неинвертирующем входе снимается с делителя напряжения подключенного к выходу операционного усилителя и его значение для положительного и отрицательного напряжения насыщения может быть рассчитано по формулам 1 и 2.

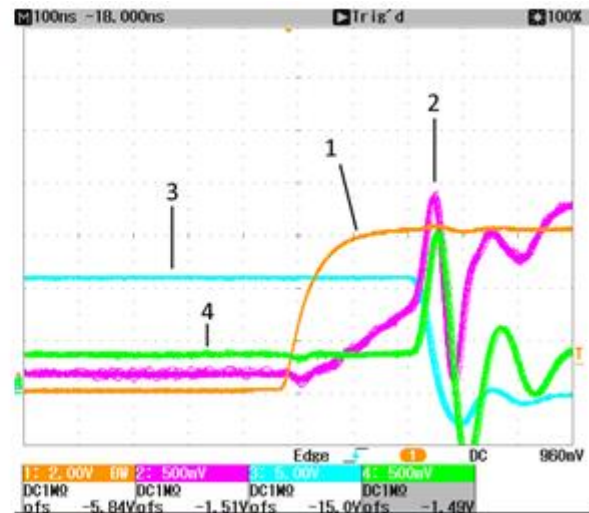
$$U_{in1} = +U_{sat} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

$$U_{in2} = -U_{sat} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4)$$

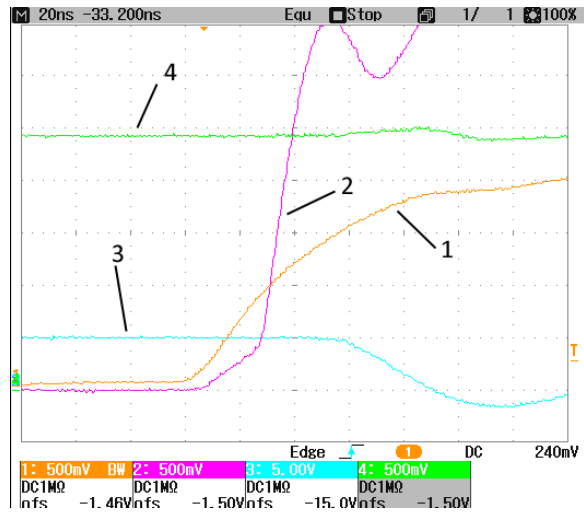
Исходя из параметров этих ключей, к системе защиты были предъявлены следующие требования: задержка срабатывания операционного усилителя не должна превышать время жизни транзистора при прохождении через него предельного тока. Были проведены экспериментальные исследование характеристик срабатывания компараторов, которые подбирались исходя из параметров схемы. Из осциллограмм на рисунке б видно, что самым быстроедейственным оказался компаратор AD8092ARZ.



a)



б)



в)

а - LM358N, задержка 200 нс, б - LM311N, задержка 100 нс, в - AD8092ARZ, задержка 20 нс

Рисунок 6 – экспериментальное исследование характеристик срабатывания компараторов

На основе описанных выше требований была разработана принципиальная схема системы защиты от скачков тока, которая приведена на рисунке 7

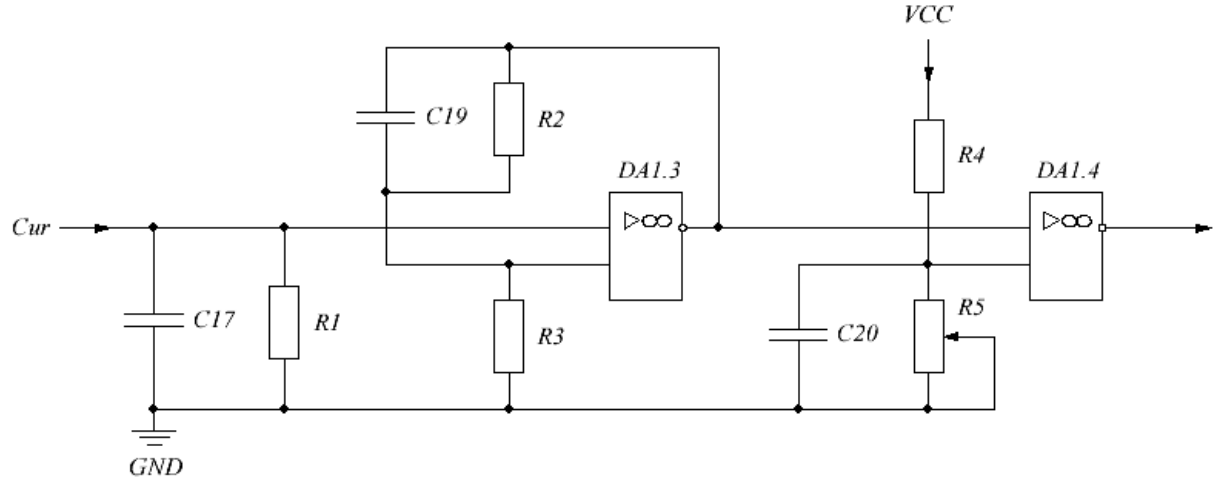


Рисунок 7 – принципиальная схема системы защиты от скачков тока

## 2.2 Система защиты от сквозных токов

Как было сказано ранее, работа ключей VT1 и VT2 в схеме накачки лазера должна быть согласованной, т.е. они должны открываться/закрываться попеременно.

Реализовать запрещенное состояние для схемы, при котором ключи не будут полностью открыты одновременно удобно на логических элементах. Для этого была построена карта Карно, таблица 1.

Таблица №1. Карта Карно для проектирования системы защиты

X1	X2	Y1	Y2
1	1	0	0
1	0	1	0
0	1	0	1
0	0	0	0

 – запрещенное состояние

На основе этого была спроектирована система защиты от сквозных токов, принципиальная схема которой представлена на рисунке 8

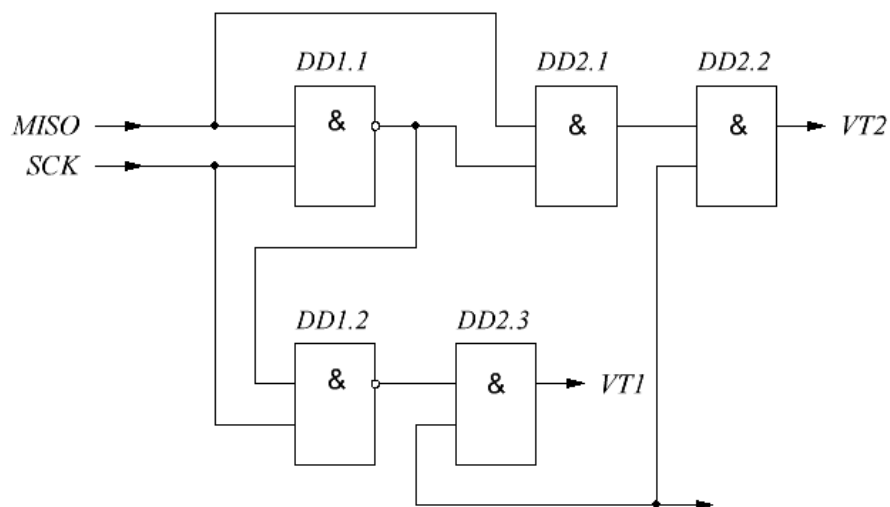


Рисунок 8 – принципиальная схема системы защиты от сквозных токов

На рисунке 9 представлена полная схема защиты источника накачки Cu-Vr лазера от скачков тока и сквозных токов.

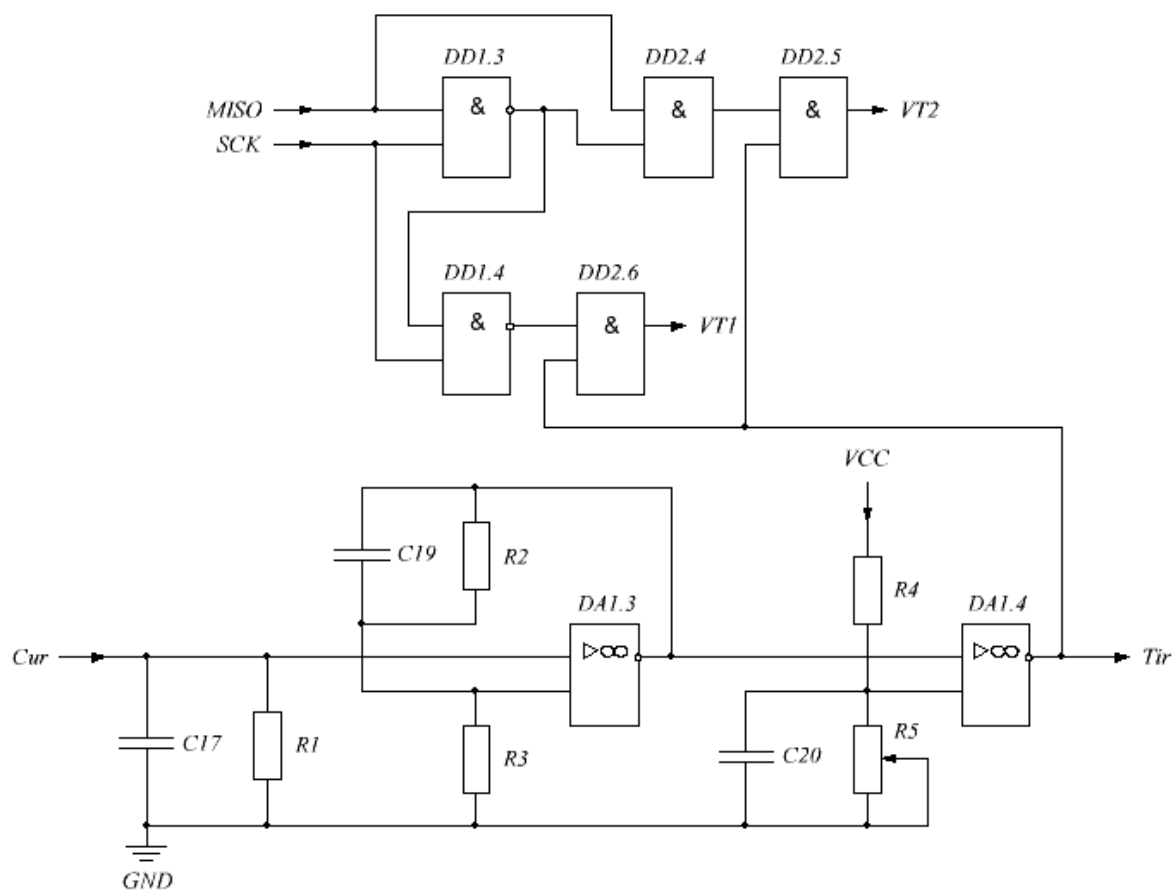


Рисунок 9 – полная принципиальная схема системы защиты источника накачки

### 3 Разработка модифицированной схемы разрядного контура

Лазеры на парах бромида меди обладают рядом характеристик, которые сильно выделяют их на фоне других лазеров в ряде приложений, в особенности в задачах активной фильтрации изображений. Однако практический КПД такого лазера ограничен и не превышает 10%. Поэтому увеличение выходной мощности и КПД Cu-Vr лазера является актуальной задачей.

Повысить мощность и эффективность излучения можно за счет согласования активной среды и источника накачки, при которой будет достигаться максимальная инверсная населенность. Для этого нужно создать высокую концентрацию электронов, обладающих энергией, достаточной для возбуждения атома меди, что предполагает увеличение скорости нарастания напряжения и тока возбуждения, а также наличие задержки между ними.

Для этого было сделано несколько модификаций схемы разрядного контура, показанной на рисунке 10а, и проведен ряд экспериментов, для исследования влияния топологии разрядного контура на параметры импульсов возбуждения активной среды, энерговклад и среднюю мощность генерации импульсов.

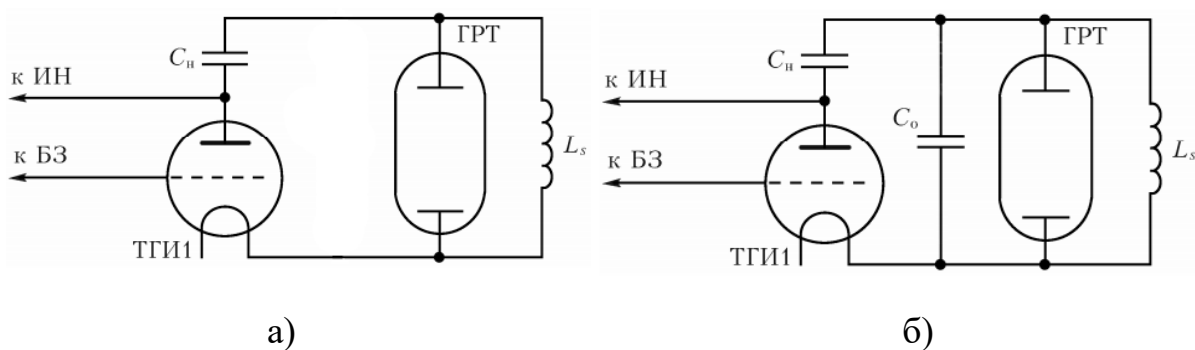
Используется активный элемент на парах бромида меди с независимыми нагревателями активной среды и контейнеров с CuVr и HBr [9]. Такая конструкция позволяет поддерживать одинаковый тепловой режим работы активного элемента при изменении вводимой мощности в среду, а также поддерживать концентрацию CuVr на одном уровне. Диаметр активной зоны ГРТ составляет 5 см, длина 90 см, излучение формируется плоскопараллельным резонатором. Заряд осуществляется с помощью источника с импульсным зарядом рабочей емкости [8, 10]. Мощность, потребляемая источником от сети, постоянна и равна 1800 Вт. Накопительная емкость (Сн) заряжается от источника напряжения (ИН) до 12

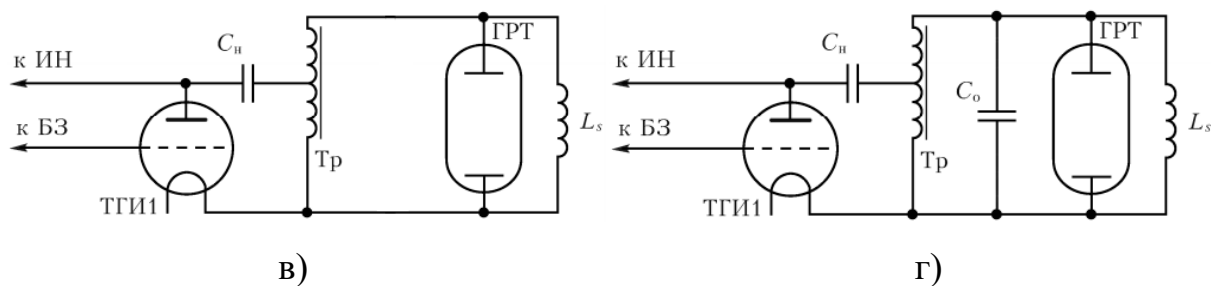


кВ через зарядную индуктивность  $L_s$ . Коммутация емкости на ГРТ осуществляется через тиратрон ТГИ1 при подаче запускающего импульса, формируемого в блоке за пуска (БЗ). Рабочая емкость равна 1650 пФ (разброс 20%), частота следования импульсов — 11 кГц; следовательно, энергия, накапливаемая в конденсаторе, составляла 118,8 мДж.

Для обострения крутизны тока был использован импульсный трансформатор. Это должно укоротить длительность импульса возбуждения и его фронт. И в свою очередь приведет к увеличению средней мощности излучения практически в 2 раза для лазера на парах меди. Применение импульсных трансформаторов позволит повысить КПД без модификации источников питания и кинетики плазмы активной среды. Емкость обострительного конденсатора ( $C_0$ ) равна 200 пФ (разброс 20%). Импульсный автотрансформатор реализован на 8 ферритовых кольцах К100х56х15 марки 2000НМ, обмотка выполнена коаксиальным кабелем РК50, число витков — 6, коэффициент трансформации — 2.

Были исследованы 4 схемы возбуждения, показанные на рисунке 10





ТГ1 – тиратрон, Сн – накопительная емкость, ГРТ – газоразрядная трубка, Ls – зарядная индуктивность

а – стандартная схема, б – с обострительным конденсатором, в – с автотрансформатором, г – с обострительным конденсатором и автотрансформатором

Рисунок 10 –схемы возбуждения

Для определения зависимости эффективности возбуждения от параметров разрядного контура регистрировались средняя мощность генерации, импульсы напряжения на ГРТ ( $U_{грт}$ ), тока через ГРТ ( $I_{грт}$ ), излучения ( $L$ ). Осциллограмма импульса излучения получена в относительных единицах. Путем перемножения мгновенных значений тока и напряжения была определена мгновенная мощность ( $P_{грт}$ ), вкладываемая в ГРТ. Эффективность возбуждения оценивалась как отношение энергии излучения к энергии, вкладываемой в активный элемент. Данный параметр использовался для определения качественных и количественных изменений энерговклада в зависимости от параметров разрядного контура.

Осциллограммы и параметры полученных импульсов показаны на рисунках 11-14.

$t\phi(U)$  – время нарастания фронта импульса напряжения,  $t\phi(I)$  – время нарастания фронта импульса тока,  $t_z$  – задержка между импульсами тока и напряжения,  $dU/dt$  – скорость нарастания фронта импульса напряжения,  $dI/dt$  – скорость нарастания фронта импульса тока

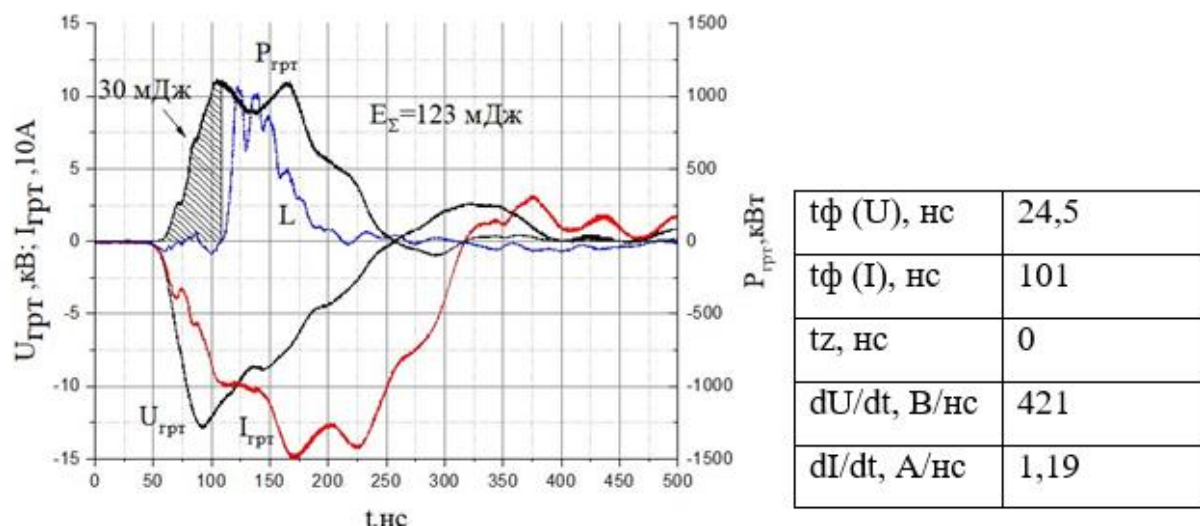
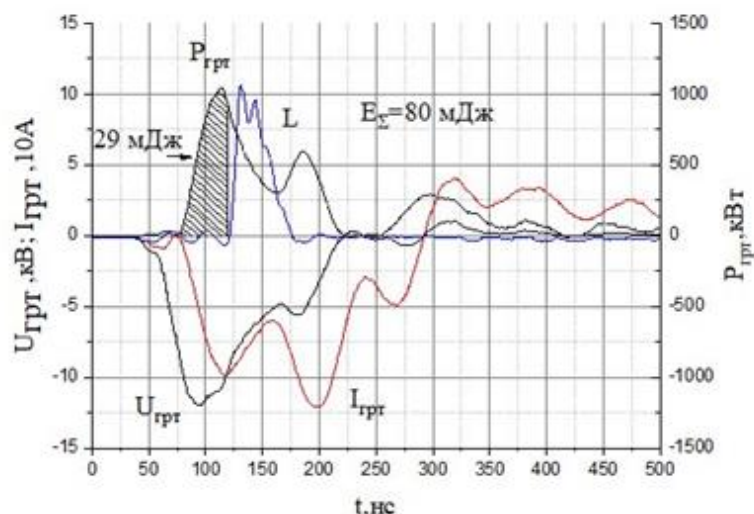


Рисунок 11 – осциллограмма и параметры импульсов для стандартной схемы

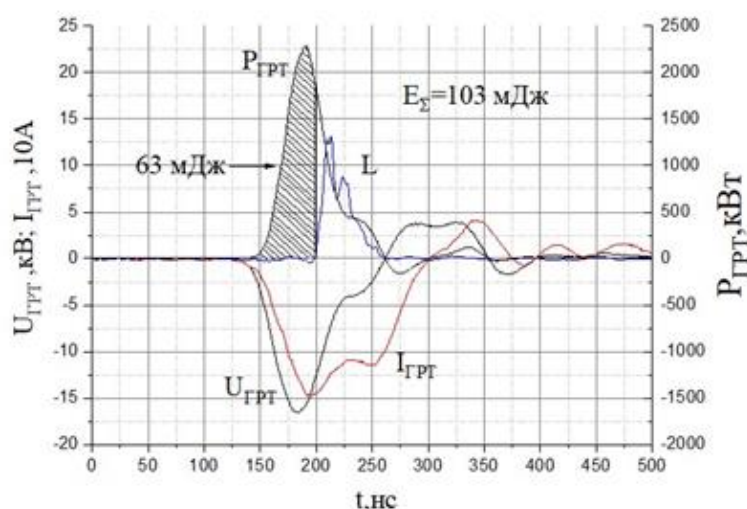
В случае без обострительного конденсатора энерговыход за импульс возбуждения составил 103 мДж, и вся энергия поступала в активную среду до момента окончания импульса генерации. До начала импульса генерации энергия, поступающая в среду, составляла 63 мДж. Энергия излучения была 1,27 мДж (средняя мощность излучения 14 Вт), а КПД по общему энерговыходу — 1,2%.



tφ (U), нс	30
tφ (I), нс	27
tz, нс	28
dU/dt, В/нс	320
dI/dt, А/нс	2,92

Рисунок 12 – осциллограмма и параметры импульсов для схемы с обострительным конденсатором

При включении в контур обострительного конденсатора эффективность возбуждения, определяемая как отношение энергии излучения к общему энергокладу, увеличилась с 1 до 1,6%. Суммарный энергоклад составил 80 мДж, это в полтора раза меньше, чем в первом случае. Энергоклад до начала импульса генерации практически не изменился. Между импульсом на пряжения и началом развития тока в ГРТ появилась задержка в 25 нс. Однако мощность генерации при этом не увеличилась, что делает такой подход к повышению КПД неэффективным.



tφ (U), нс	29
tφ (I), нс	37,5
tz, нс	3,5
dU/dt, В/нс	455
dI/dt, А/нс	3,16

Рисунок 13 – осциллограмма и параметры импульсов для схемы с автотрансформатором

Использование автотрансформатора привело к увеличению амплитуды напряжения на ГРТ до 16 кВ. а также к изменению энерговклада в среду и его распределению во времени.

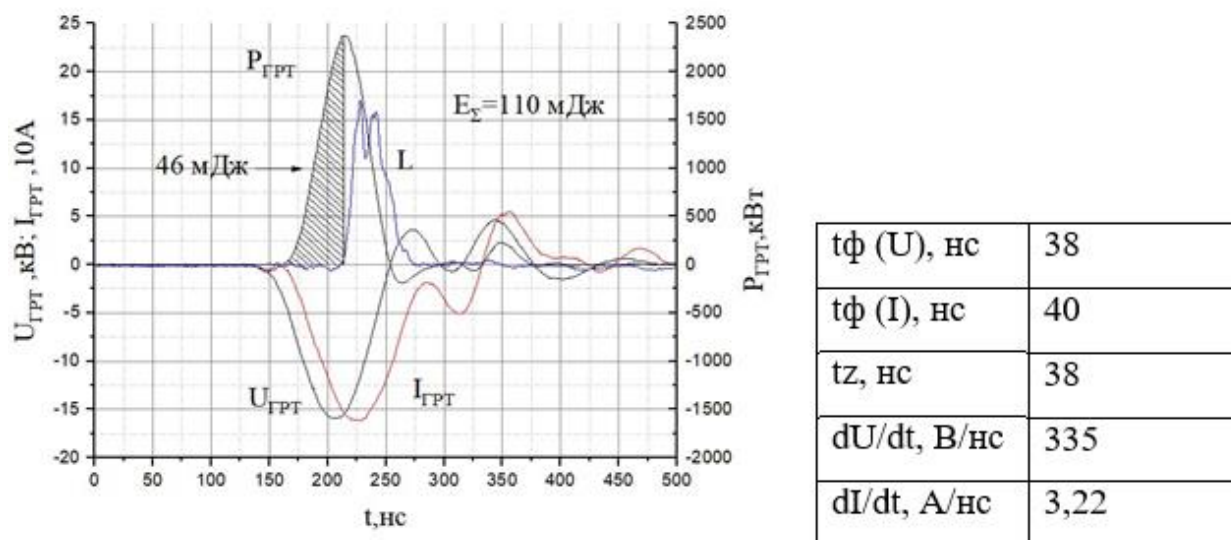


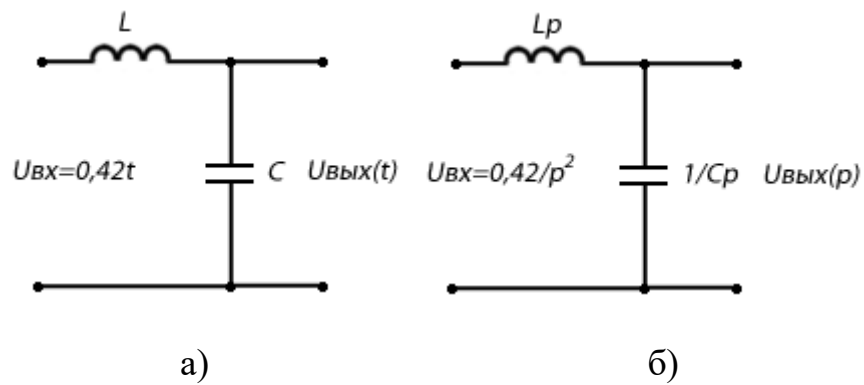
Рисунок 14 –осциллограмма и параметры импульсов для схемы с обострительным конденсатором и автотрансформатором

Энергия импульса генерации в схеме с обострительным конденсатором и автотрансформатором равна 1,91 мДж, при средней мощности 21 Вт. Энерговклад сохранился на том же уровне, что и без конденсатора — 110 мДж, следовательно, эффективность возбуждения увеличилась до 1,8%. Однако энерговклад до начала импульса генерации составил 46 мДж, а это на 30% ниже, чем для случая без обострительного конденсатора. Несмотря на это, мощность генерации увеличилась в полтора раза.

Эксперименты показали, что обострительный конденсатор обеспечивает некоторую задержку начала развития тока через ГРТ относительно импульса напряжения. В совокупности с увеличением энерговклада до начала импульса генерации за счет использования импульсного автотрансформатора достигается увеличение эффективности

возбуждения лазера в 1,5 раза. Путем незначительной модификации схемы разрядного контура средняя мощность генерации повысилась с 14 до 21 Вт при сохранении мощности, потребляемой источником от сети. При этом практический КПД, рассчитываемый по энергии, запасенной в накопительном конденсаторе, увеличился до 1,6%.

Для подтверждения результатов эксперимента был математически смоделирован фронт импульса напряжения для схемы с обострительным конденсатором и автотрансформатором. Для этого схема была представлена как LC контур (рисунок 15). Был использован параметрический метод, расчет проводился в программе MathCAD.



а – до преобразования, б – после преобразования

Рисунок 15 – упрощенные схемы разрядного контура для расчета и моделирования

Результаты преобразования представлены на рисунке 16 и 17

$$\begin{aligned}
 C1 &:= 200 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} \\
 L1 &:= 217 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \\
 U_{\text{вых}}(p) &:= \frac{\frac{1}{C1 \cdot p}}{L1 \cdot p + \left(\frac{1}{C1 \cdot p}\right)} \cdot \frac{0.42}{p^2} \rightarrow \frac{2.1e6}{p^3 \cdot \left(\frac{217 \cdot p}{1000000} + \frac{5000000}{p}\right)} \\
 & \frac{2.1e6}{s^3 \cdot \left(\frac{217 \cdot s}{1000000} + \frac{5000000}{s}\right)} \text{ invlaplace} \rightarrow \frac{21 \cdot t}{50} - \frac{21 \cdot \sqrt{5} \cdot \sqrt{217} \cdot \sin\left(\frac{1000000 \cdot \sqrt{5} \cdot \sqrt{217} \cdot t}{217}\right)}{250000000}
 \end{aligned}$$

Рисунок 16 – результаты вычислений из программы MathCAD

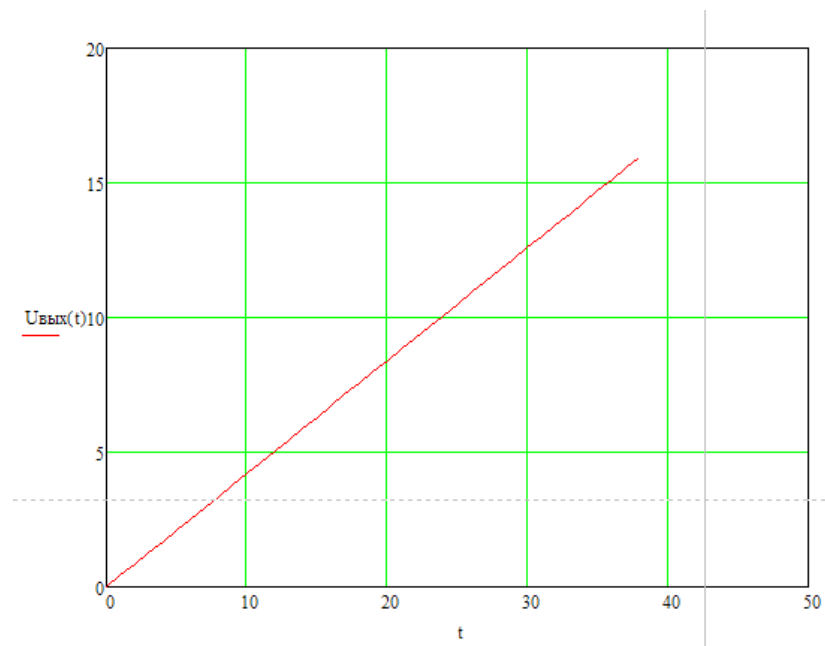


Рисунок 17 – моделирование фронта импульса напряжения для схемы с обострительным конденсатором и автотрансформатором

Проведенное моделирование подтвердило эксперимент.



#### 4 Разработка источника возбуждения активной среды цезиевой лампы.

В качестве дополнения к основной работе была проведена разработка источника возбуждения для цезиевой лампы, которая, в отличие от лазеров на самоограниченных переходах, является источником постоянного излучения.

Флуоресцентные фильтры на парах металлов являются одними из самых узкополосных в оптике и позволяют с высоким отношением сигнал-шум регистрировать слабый узкополосный сигнал на фоне широкополосного мощного шумового излучения. Спектральная полоса таких фильтров в пределе определяется Доплеровской шириной линии поглощения атомов (менее 0,001нм). При необходимости спектральную полосу фильтра можно увеличить в несколько десятков раз путем добавления инертных газов к рабочим атомам. Флуоресцентные фильтры обладают независимостью положения спектральной полосы от внешних параметров, обусловленной стабильностью частоты атомных переходов [11-13].

Принцип работы флуоресцентных фильтров состоит в том, что сигнальное излучение на частоте резонансного атомного перехода поглощается атомами рабочего вещества. Далее происходят спонтанные переходы через промежуточные уровни на более низкий возбужденный атомный уровень, флуоресценция с которого несет информацию исходного сигнального излучения. Широкополосное фоновое излучение вносит вклад в флуоресценцию только в пределах ширины атомной линии. Таким образом, сигнальное излучение, поглощаясь рабочими атомами в кювете, вызывает вторичное свечение в области спектра, лежащего вне полосы пропускания широкополосного входного фильтра. Вторичное флуоресцентное свечение регистрируется через выходной широкополосный фильтр, полоса пропускания которого смещена в длинноволновую область по отношению к полосе входного фильтра. Если полосы пропускания входного и выходного фильтров не перекрываются, то происходит практически полное подавление

широкополосного фонового излучения сопровождающего излучение полезного сигнала.

К недостаткам флуоресцентных фильтров следует отнести фиксированные длины волн их работы (как правило, всего несколько оптических частот для каждого рабочего атома), определяемые частотами резонансных переходов атомов и необходимость нагрева кюветы при работе с атомами щелочных металлов до температуры 100-200 °С.

Основными характеристиками флуоресцентных фильтров являются спектральная ширина, квантовая эффективность (отношение количества фотонов регистрируемой флуоресценции к количеству поглощенных квантов возбуждающего излучения) и ширина полосы частотной характеристики, определяющая быстродействие фильтра.

Было установлено, что флуоресцентные фильтры на парах атомов цезия ( $\lambda=455.5$  и  $459.3$  нм) с добавлением в рабочую ячейку гелия являются рекордсменами по квантовой эффективности и быстродействию среди атомных фильтров на парах атомов щелочных металлов [14].

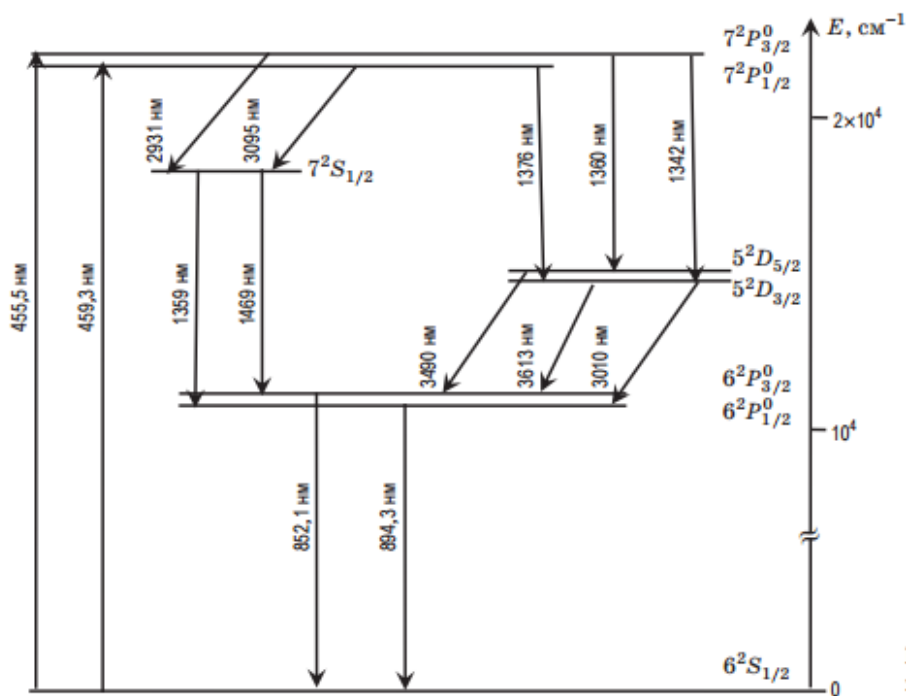


Рисунок 18 – Схема уровней и переходов атома Cs

Цезиевые флуоресцентные фильтры без буферного газа имеют квантовую эффективность 95 %, спектральную ширину – 0,0006 нм, ширину полосы частотной характеристики – 100 КГц.

Цезиевые флуоресцентные фильтры при добавлении в рабочую кювету 33 КПа гелия имеет квантовую эффективность 130 %, спектральную ширину 0.005 нм и полосу частотной характеристики – 2 МГц.

Таким образом, для наблюдения неподвижных предметов и медленных процессов предпочтительно использовать цезиевые фильтры без буферного газа в виду их минимальной спектральной ширины, а для наблюдения быстрых процессов цезиевые фильтры с добавлением буферного газа из-за высокого быстродействия.

Для зажигания лампы необходимо получить высокочастотные колебания. Для этого была собран высокочастотный генератор, представленный на рисунке 19.

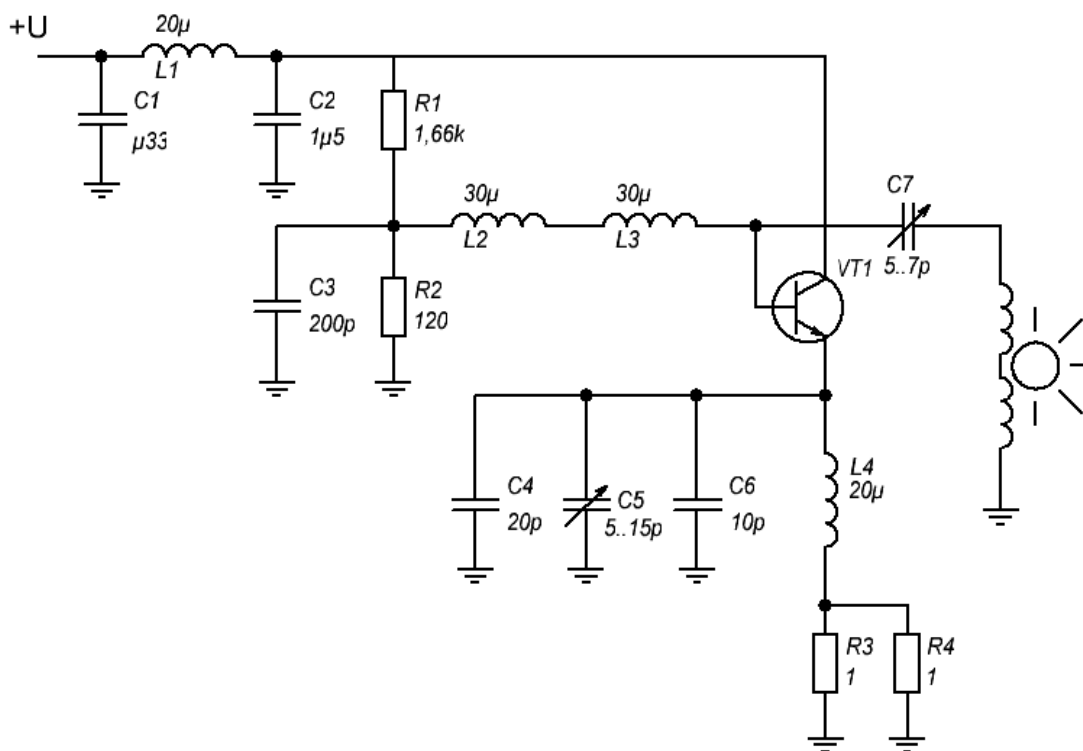


Рисунок 19 – Схема ВЧ генератора

На рисунке 20 показаны осциллограммы, полученные при калибровке ВЧ генератора под параметры цезиевой лампы.

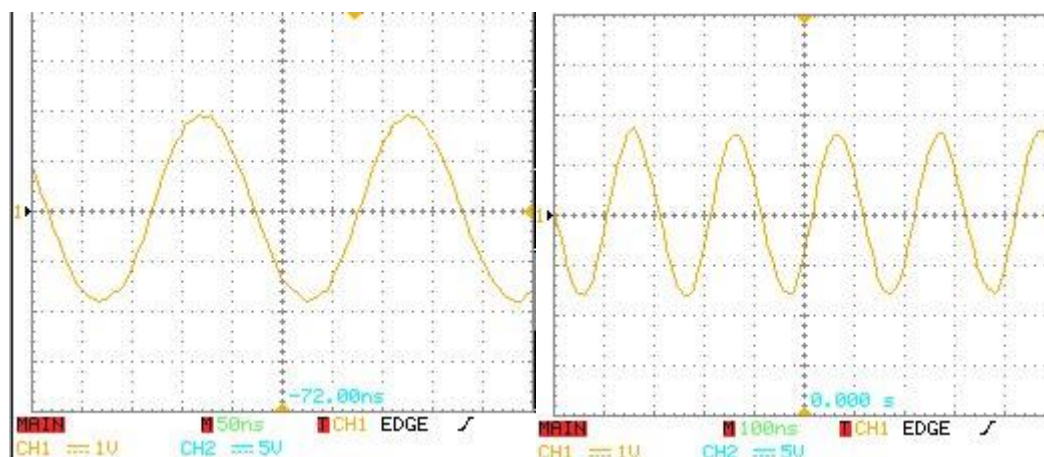


Рисунок 20 – осциллограммы, полученные при изменении емкости подстроечного конденсатора

Подстроечные конденсаторы позволяют задать нужную частоту и амплитуду колебаний для зажигания лампы.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Т41	Таратушкина Валерия Владимировна

<b>Школа</b>	<b>Новых производственных технологий</b>	<b>Отделение</b>	<b>Материаловедения</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	16.03.02 Высокотехнологические плазменные и энергетические установки

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования</i>	Определение ресурсоэффективности проекта

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей)

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценочная карта конкурентных технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. Иерархическая структура работ</li> <li>4. Календарный план проекта</li> <li>5. Бюджет проекта</li> <li>6. Определение ресурсоэффективности проекта</li> </ol>
---

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

--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В.	к.экон.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4Т41	Таратушкина Валерия Владимировна		

## 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Целью данной выпускной квалификационной работы является модификация источника накачки CuBr-лазера в системе лазерного монитора, предназначенного для визуализации быстропротекающих процессов. Данная установка будет являться альтернативой лазерному проекционному микроскопу и такой разработке как CAVILUX Smart.

### 5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является возможность производить визуализацию сложных процессов с полным устранением фоновой засветки. На данный момент существует следующее техническое решение: использование системы лазерного монитора и современных высокоскоростных камер. Данная разработка позволяет экранировать от

наблюдателя мощную фоновую засветку посредством активных оптических систем.

В широком обзоре данная разработка входит в сегмент рынка лазеров, относящийся к научным исследованиям и военным применениям. Этот рынок включает лазеры, используемые для фундаментальных исследований и разработок, например, в университетах и национальных лабораториях, а также лазеры для новых и существующих военных применений, например, дальномеры, подсветчики, ИК противодействие и исследование оружия направленной энергии.

Специализированным целевым рынком данной технологии будет являться рынок подсветки и фильтрации изображений.

Сегментировать рынок можно относительно предельно-допустимой дистанции визуализации системы. Результаты сегментирования представлены в рисунке 21.

		Установки для визуализации		
		Лазерный монитор	Лазерный проекционный микроскоп	CAVILUX Smart
Предельно-допустимая дистанция визуализации	Больше 2-х метров			
	Меньше 2-х метров			

Рисунок 21 – Карта сегментирования рынка подсветки и фильтрации изображений

Из построенной карты сегментирования очевидно, что существующие на рынке активные оптические системы для визуализации быстропротекающих процессов в основном имеют предельно-допустимую дистанцию визуализации

меньше 2-х метров. Следовательно, установки с более высоким данным параметром будут более конкурентоспособными.

### 5.1.1 Анализ конкурентных технических решений

На настоящее время на лазерном рынке существуют две технологии, которые могут составить конкуренцию лазерному монитору. Это – Laser projection microscope (лазерный проекционный микроскоп) и CAVILUX Smart (лазерный источник света для высокоскоростных приложений).

Для того чтобы понять сможет ли разрабатываемая система обойти аналоги и определить дальнейшее направление ее развития, необходимо провести анализ для сравнения конкурентных технических решений, которые присутствуют на рынке. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся доступная информация о аналоговых разработках:

- технические характеристики разработок;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа, готовой установки);
- стоимость разработки;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения.

Критерии для сравнения подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей, создания и эксплуатации, а так же доступности информации.

Для оценки были выбраны следующие технические и экономические критерии, которые являются наиболее значительными для данной технологии:

#### 1. Функциональная мощность

Лазерный монитор: 600 Вт.

Лазерный микроскоп: 600 Вт.



CAVILUX Smart: 500 Вт.

## 2. Глубина фильтрации изображения

Данный критерий показывает способности каждого из аналогов устранять фоновую засветку. Его оценка производилась по экспериментальным данным. Наилучшие результаты показала система лазерного монитора.

## 3. Предельно-допустимая дистанция визуализации

По данному критерию оценивается максимальное расстояние, с которого можно наблюдать за процессом.

Лазерный монитор: 3 м.

Лазерный микроскоп: 1 м.

CAVILUX Smart: 0,5 м.

## 4. Помехоустойчивость

Данный критерий показывает восприимчивость каждого из аналогов к посторонним сигналам, влияющих на качество получаемого изображения. Его оценка производилась по экспериментальным данным. Результаты не показали значимых отличий по данному критерию.

## 5. Простота эксплуатации

Субъективно оценивался уровень компетенции, который требуется для эксплуатации установок. Конструкция CAVILUX Smart наиболее проста и удобна.

## 6. Безопасность

По данному критерию оценивается безопасность эксплуатации каждого из аналогов. Корпус CAVILUX Smart является изолированным, а лазерный монитор и лазерный проекционный микроскоп в свою очередь являются открытыми системами.

## 7. Стоимость системы

По данному критерию оценивается приблизительная стоимость каждого из аналогов. (Высший балл за минимальную стоимость)

Лазерный монитор:  $\approx$  750 тыс. руб.

Лазерный микроскоп:  $\approx 1$  мил. руб.

CAVILUX Smart:  $< 1,5$  мил. руб.

#### 8. Предполагаемый срок эксплуатации

По данному критерию оценивается приблизительный срок эксплуатации каждого из аналогов. Если избегать аварийных режимов работы, то все установки рассчитаны на продолжительный срок службы, поэтому можно считать показания по этому критерию равными.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-способность		
		$B_{\phi}$	$B_{K1}$	$B_{K2}$	$K_{\phi}$	$K_{K1}$	$K_{K2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Функциональная мощность	0,15	3	3	2	0,45	0,45	0,3
2. Глубина фильтрации изображения	0,15	3	2	1	0,45	0,3	0,15
3. Предельно-допустимая дистанция визуализации.	0,15	3	2	1	0,45	0,3	0,15
4. Помехоустойчивость	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
5. Простота эксплуатации	0,1	2	2	3	0,2	0,2	0,3
6. Безопасность	0,1	2	2	3	0,2	0,2	0,3
7. Стоимость системы	0,15	3	2	1	0,45	0,3	0,15
8. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
Итого	1	22	19	17	2,8	2,35	1,95

Где  $\Phi$  – система лазерного монитора;

$K1$  – Laser projection microscope (лазерный проекционный микроскоп);

$K2$  – CAVILUX Smart (лазерный источник света для высокоскоростных приложений).

Из приведенных выше данных можно сделать вывод, что система лазерного монитора является более конкурентоспособной, нежели существующие на рынке аналоги. Номинальная мощность излучения, предельно-допустимая дистанция визуализации, глубина фильтрации изображения и цена установки стали определяющими критериями в данном анализе.

### 5.1.2 SWOT-анализ

В таблице 3 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таблица 3 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта			
		C1	C2	C3	C4
Возможности проекта	B1	+	+	+	+
	B2	+	0	+	0
	B3	-	-	+	-

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «плюс» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «минус» – слабое соотношение, «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.

Таблица 4 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Наличие прототипа установки</p> <p>С2. Наличие квалифицированных кадров для исполнения проекта.</p> <p>С3. Такие критерии как: функциональная мощность, предельно-допустимая дистанция визуализации и пространственное разрешение системы выше, чем у конкурентных разработок.</p> <p>С5. Имеется доступ к производственному и измерительному оборудованию, которое необходимо для выполнения проекта</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Высокая стоимость ключевых узлов установки и некоторых комплектующих.</p> <p>Сл2. Сложность в разработке и эксплуатации установки.</p> <p>Сл3. Высокий уровень электромагнитного излучения.</p> <p>Сл4. Необходимость соблюдения строгого электромагнитного и теплового режимов.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Наличие спроса на продукт у научно-исследовательских университетов.</p> <p>В2. Импортзамещение.</p> <p>В3. Стоимость ниже, чем у аналогов.</p>	<p>Разработка включает ряд отличительных особенностей по сравнению с современными дорогостоящими аналогами, что обеспечит потребительский спрос на своем сегменте рынка и может позволить реализовать импортзамещение.</p>	<p>Возможность замены некоторых компонентов системы отечественными аналогами.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p> <p>У2. Низкий спрос из-за сложности эксплуатации и допуска к работе специалистов с квалификационной группой электробезопасности не ниже IV.</p> <p>У3. Ограничение на экспорт технологии.</p> <p>У4. Увеличение конкуренции.</p>	<p>Возможность модернизации установки в целях упрощения условий эксплуатации за счет автоматизации некоторых процессов</p>	<p>Разработка более совершенной модели с более низким уровнем электромагнитного излучения за счет модификации контура.</p>

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества разработки преобладают над ее недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

## 5.2 Планирование управления научно-техническим проектом

### 5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Техник
	3	Проведение патентных исследований	Техник
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, техник
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, техник

### Продолжение таблицы 5

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Техник
	7	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Техник
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Техник
Проведение ВКР			
Разработка технической документации и проектирование	11	Разработка принципиальной схемы	Руководитель, техник
	12	Выбор и расчет схемы	Техник
Изготовление и испытание макета	13	Конструирование и изготовление схемы	Техник
	14	Лабораторные испытания	Техник
Оформление комплекта документации по ВКР)	15	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Техник

#### 5.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

В рамках планирования исследовательского проекта построен календарный план-график с помощью диаграммы Ганта. В данном случае работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ.

Линейный график представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	2	01.02.2018	03.02.2018	Руководитель

Продолжение таблицы 6

Код работ	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
2	Составление и утверждение технического задания	2	03.02.2018	05.02.2018	Руководитель
3	Выбор направления исследований	5	05.02.2018	10.02.2018	Руководитель, техник
4	Подбор и изучение материалов по теме	2	10.02.2018	13.02.2017	Техник
5	Календарное планирование работ	1	13.02.2018	14.02.2018	Руководитель, техник
6	Изучение источника накачки CuVg-лазера	10	14.02.2018	24.02.2018	Техник
7	Разработка принципиальной схемы системы защиты источника накачки	25	24.02.2018	21.03.2018	Техник
8	Разработка модифицированной схемы разрядного контура	10	21.03.2018	31.03.2018	Техник
9	Проведение экспериментальных исследований	15	31.03.2018	15.04.2018	Техник
10	Обобщение и оценка результатов	3	15.04.2018	18.04.2018	Руководитель, техник
11	Изучение принципов индукционной накачки флуоресцентных ламп	10	18.04.2018	28.04.2018	Техник
12	Разработка источника возбуждения активной среды цезиевой лампы	15	28.04.2018	13.05.2018	Техник
13	Составление пояснительной записки	73	05.02.2018	20.05.2018	Техник
14	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	20.05.2018	21.05.2018	Руководитель, Техник
15	Подготовка к защите	31	21.05.2018	20.06.2018	техник

В таблице 7 представлен календарный план-график проведения научного исследования.



Таблица 7 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнитель	Т <sub>к</sub> , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ															
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Разработка технического задания	Руководитель	2	█															
2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	█															
3	Выбор направления исследований	Руководитель, техник	5	█	█														
4	Подбор и изучение материалов по теме	Техник	2		█														
5	Календарное планирование работ	Руководитель, техник	1		█														
6	Изучение источника накачки CuBr-лазера	Техник	10		█	█	█												
7	Разработка принципиальной схемы системы защиты источника накачки	Техник	25				█	█	█	█									
8	Разработка модифицированной схемы разрядного контура	Техник	10						█										
9	Проведение экспериментальных исследований	Техник	15							█	█	█							
10	Обобщение и оценка результатов	Руководитель, техник	3									█	█	█					



Продолжение таблицы 7

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал.д н.	Продолжительность выполнения работ															
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
11	Изучение принципов индукционной накачки флуоресцентных ламп	Техник	10																
12	Разработка источника возбуждения активной среды цезиевой лампы	Техник	15																
13	Составление пояснительной записки	Техник	73																
14	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Руководитель, техник	1																
15	Подготовка к защите	Техник	31																

 – Руководитель  – Студент

### 5.3 Бюджет научного исследования

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

- материальные затраты;
- 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.

### 5.3.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, \quad (5)$$

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

$N_{расxi}$  – 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, принимаются в пределах 15-25 % от стоимости материалов.

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию и приобретение канцелярских товаров.

Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 8.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 5,8 \cdot 0,5 \cdot 1000 = 2900 \quad (6)$$

где  $C_{эл}$  – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);

$P$  – мощность оборудования, кВт;  $F_{об}$  – время использования оборудования, ч.

Затраты на электроэнергию составили 2900 рублей.

Таблица 8 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электричество	–	480 кВт·ч	5,8	2900

Продолжение таблицы 8

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Конденсаторы	0805 – X7R – 50 В – 22 мкФ ± 10%	3	0,9	2,7
	0805 – NPO – 50 В – 22 пФ ± 5%	3	0,9	2,7
	0805 – NPO – 50 В – 100 пФ ± 5%	2	0,9	1,8
	0805 – X7R – 50 В – 10 мкФ ± 10%	3	0,9	2,7
	0805 – X7R – 50 В – 0,1 мкФ ± 10%	5	0,9	4,5
Резисторы	RC0805JR – 0,1 Вт – 1 кОм ± 5%	10	1	10
	RC0805JR – 0,1 Вт – 10 кОм ± 5%	5	1	5
	RC0805JR – 0,1 Вт – 220 Ом ± 5%	1	2	2
	RC1206JR – 0,1 Вт – 680 Ом ± 5%	2	2	4
	RC0805JR – 0,1 Вт – 5,6 кОм ± 5%	3	1	3
	RC0805JR – 0,1 Вт – 47 Ом ± 5%	1	2	2
	RC0805JR – 0,1 Вт – 10 Ом ± 5%	1	2	2
	RC0805JR – 0,1 Вт – 20 Ом ± 5%	1	2	2
	RC0805JR – 0,1 Вт – 1 кОм ± 5%	1	2	2
	RC1206JR – 0,1 Вт – 47 Ом ± 5%	1	2	2
	RC0805JR – 0,1 Вт – 2 кОм ± 5%	2	2	4
Подстроечный резистор	3296W – 0,5 Вт – 10 кОм ± 5%	1	110	110
Дроссель	EC24-102K – 1000 мкГн ± 5-10%	1	8	8
Цифровые логические микросхемы	SN74LS00D – 4 эл. 2И-НЕ	1	53	53
	MC74HC08ADR2G – 4 эл. 2-И	1	33	33
Операционный усилитель	AD8092ARZ – ±5 В – SO-8	1	110	110
Диод	LL4148 – 100 В – 0,15 А – SOD-80	2	2	4
Персональный компьютер				
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого по статье С <sub>м</sub>				3403,6

### 5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные со стоимостью спецоборудования. Расчет затрат по данной статье заносится в табл. 3.8. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НИИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений. Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в табл. 9, где стоимость оборудования за весь период использования с учетом амортизации рассчитывается по формуле:

$$Ca = \frac{\Phi_{\text{пер}} \cdot Na}{100 \cdot K_{\text{рабочих дней в году}}} \cdot T_p \quad (7)$$

Таблица 9 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Фпер, тыс.р уб.	Тсл, мес.	На, % в мес.	Са в месяц, тыс. руб	Период реализации проекта, мес	Са за весь период, тыс.руб.
1.	Установка для лазерного монитора	1	500,42	60	1,67	8,34	4	37,56
2.	Цифровой осциллограф DS1074B	1	78	60	1,67	1,3	4	5,86
3.	Измерительный высоковольтный щуп P6015A	1	185	48	2,08	3,85	4	16,9
4.	Токовое кольцо Pearson Current Monitors 8450	1	200	48	2,08	4,16	4	18,7
	Итого:							79,02

### 5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (8)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (9)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$Z_{дн} = (Z_{м} \cdot M) / F_{д}, \quad (10)$$

где  $Z_{м}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{д}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 10).

Таблица 10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Техник
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	52	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	48	24
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Месячный оклад техника по ставке 0,25 составляет 4500. Районный коэффициент по Томску равен 1,3.

Среднедневная оплата составляет:

$$Z_{\text{дн}} = (4500 \cdot 1,3 \cdot 11,2) / 223 = 293,8 \text{ руб/день.} \quad (11)$$

Основной заработок техника за время написания ВКР:

$$Z_{\text{осн}} = 293,8 \cdot 83 = 24385,4 \text{ руб.} \quad (12)$$

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

– оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

– стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

– иные выплаты: районный коэффициент.

При расчете в качестве базового оклада  $Z_6$  берется сумма в 16 000 рублей для руководителя – оклад в организации, где проводилась реализация проекта (Институт оптики атмосферы СО РАН).

Районный коэффициент по Томску равен 1,3.

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = (16000 \cdot 1,3 \cdot 10,4) / 251 = 861,8 \text{ руб / день.} \quad (13)$$

Основной заработок научного руководителя за время написания ВКР:

$$Z_{\text{осн}} = 861,8 \cdot 5 = 4309 \text{ руб} \quad (14)$$

#### 5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (15)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

Примем коэффициент дополнительной заработной платы равным 0,15 для научного руководителя и 0,1 для студента. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата, руб.	Руководитель	Техник
Основная зарплата	4309	24385,4
Дополнительная зарплата	646,35	2438,54
Зарплата исполнителя	4955,35	26823,94
Итого по статье $C_{\text{зн}}$	31779,3	

### 5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 27,1 % от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (16)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (4955,35 + 26823,94) = 8612,2 \text{ руб.} \quad (17)$$

### 5.3.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (18)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы в ТПУ составляют 20 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы.

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,2 \cdot (4955,35 + 26823,94) = 6355,86 \text{ руб.} \quad (19)$$

### 5.3.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

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 12.

Таблица 12 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	3403,6
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	79020
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	28694,4
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3084,89
5. Отчисления во внебюджетные фонды	8612,2
6. Накладные расходы	6355,86
Бюджет затрат исследования	129170,95



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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 3.12). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (20)$$

где  $I_{финр}^{исп.i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{финр}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = 0,086; \quad (21)$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{fund}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{1000000}{1500000} = 0,67; I_{fund}^{a2} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{1500000}{1500000} = 1 \quad (22)$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (23)$$

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

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

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

$n$  – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен ниже. Критерии выбраны исходя из специфики применения данных разработок, и являются наиболее важными.

Таблица 13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Лазерный монитор	Лазерный проекционный микроскоп	CAVILUX Smart
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,20	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	4	5
3. Помехоустойчивость	0,20	5	5	5
4. Энергосбережение	0,10	4	4	4
5. Надежность	0,15	3	3	4
6. Материалоемкость	0,20	5	3	3
ИТОГО	1	26	23	25

$$I_{\text{тп}} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,10 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 = 4,45;$$

$$\text{Аналог 1} = 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,10 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 = 3,85;$$

$$\text{Аналог 2} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 = 4,15.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{\text{финр}}^p$ ) и аналога ( $I_{\text{финаi}}^{ai}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p}; I_{\text{финаi}}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{\text{финаi}}^{ai}}; \quad (24)$$

В результате:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p} = \frac{4,45}{0,086} = 51,74; I_{\text{фина1}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\text{фина1}}^{a1}} = \frac{3,85}{0,67} = 6,64; I_{\text{фина2}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\text{фина2}}^{a2}} = \frac{4,15}{1} = 4,15. \quad (25)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финаi}}^{ai}} \quad (26)$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 14.

Таблица 14– Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,67	1	0,086
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,85	4,15	4,45
3	Интегральный показатель эффективности	6,64	4,15	51,74
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	7,8	12,4	1

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Т41	Таратушкина Валерия Владимировна

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Материаловедения</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</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>Целью данной выпускной квалификационной работы является модификация источника накачки CuBr-лазера в системе лазерного монитора, предназначенного для визуализации быстропротекающих процессов.</p> <p>Рабочая зона расположена в Лаборатории квантовой электроники Института оптики атмосферы СО РАН.</p> <p>В процессе электромонтажных работ и экспериментальных исследований могут иметь место проявления факторов производственной среды, вредных и опасных для здоровья человека.</p> <p>Негативное воздействие на окружающую природную среду не оказывается (атмосферу, гидросферу, литосферу).</p> <p>Возможно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного характера. Возможность возникновения чрезвычайных ситуаций стихийного характера практически исключена.</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>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;</li> <li>– (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> </ul>	<p>Анализ выявленных вредных факторов, к которым относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- электромагнитное излучение;</li> <li>- лазерное излучение;</li> <li>- недостаточная освещенность;</li> <li>- повышенный уровень шума;</li> <li>- вредные вещества, выделяющиеся при пайке: аэрозоли свинца, олова, висмута, пары спирта и канифоли;</li> </ul> <p>Рассмотрены средства коллективной и индивидуальной защиты от наиболее вредных факторов.</p> <p>Анализ выявленных опасных факторов, к которым относятся:</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- электробезопасность;</li> <li>- термические опасности;</li> <li>- лазерное излучение;</li> <li>- пожаровзрывобезопасность;</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> <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>Разрабатываемый аппаратно-программный комплекс оказывает минимальное воздействие на окружающую среду: концентрация вредных веществ, выделяющихся при пайке, не превышает ПДК; утилизация электрооборудования сопровождается воздействием на литосферу.</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>Возможной чрезвычайной ситуацией на объекте может стать возникновение пожара. Рассмотрены причины возникновения пожара и меры по предупреждению и устранению данной чрезвычайной опасности.</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>Рассмотрены основные обязанности и права работников в соответствии с Трудовым Кодексом РФ и Конституцией РФ.</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД ИШНКБ	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.б.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Таратушкина Валерия Владимировна		

## 6 Социальная ответственность

### Введение

Данный раздел рассматривает основные вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с техникой безопасности на производстве.

Целью данной выпускной квалификационной работы является модификация источника накачки CuBr-лазера в системе лазерного монитора, предназначенного для визуализации быстропротекающих процессов. Для реализации осуществляются электромонтажные работы. Эксплуатация разрабатываемой системы управления и лазерных активных элементов осуществляется при высоком напряжении порядка 10-12 кВ. Экспериментальные исследования возможностей аппаратно-программного комплекса включают также работу с лазерным излучением. Таким образом, к основным вопросам производственной безопасности относятся электробезопасность и безопасность при работе с лазерным излучением.

Указанные работы осуществлялись в Лаборатории квантовой электроники Института оптики атмосферы СО РАН. Лаборатория оборудована специальными рабочими местами для осуществления электромонтажных работ. Испытания высоковольтных блоков аппаратно-программного комплекса проводятся на специальных стендах, подлежащих защитному заземлению.

Для минимизации негативных последствий производственной и научно-исследовательской деятельности необходимо разработать комплекс мероприятий технического, организационного, режимного и правового характера с учетом специфики выполняемых работ.

## 6.1 Техногенная безопасность

Необходимо провести анализ факторов рабочей зоны, выявить ее наиболее вредные и опасные факторы. Данный анализ был проведен в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74, их основной перечень представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Опасные и вредные факторы при разработке и эксплуатации системы управления бистатическим лазерным монитором

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74)	
	Вредные	Опасные
1. Разработка аппаратно-программного комплекса: 2. Электромонтажные работы	1. Недостаточная освещенность рабочей зоны 2. Статические перегрузки 3. Выделение вредных веществ при пайке 4. Умственное перенапряжение	1. Поражение электрическим током
1. Экспериментальное исследование возможностей разрабатываемого комплекса: 2. Эксплуатация высоковольтного модулятора и источников накачки 3. Работа с лазерным излучением 4. Проведение экспериментов	1. Недостаточная освещенность рабочей зоны 2. Повышенный уровень электромагнитных излучений 3. Повышенный уровень шума	1. Поражение электрическим током высокого напряжения 2. Лазерное излучение с высокой спектральной яркостью 3. Фоновая засветка 4. Высокая температура поверхности газоразрядной трубки (термическое воздействие)



Далее более детально анализируется каждый из перечисленных вредных и опасных факторов, дается краткое описание их физико-химической природы, обозначается непосредственная связь этих факторов с выполняемыми работами, рассматриваются их негативные воздействия на организм человека, а также возможные меры защиты.

#### 6.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды

##### 6.1.1.1 Электромагнитное излучение (ЭМИ)

Практически все электронные приборы создают электромагнитные поля, оказывающие на организм человека неблагоприятное воздействие, степень которого определяется интенсивностью излучения, частотными характеристиками и продолжительностью воздействия.

Лаборатория квантовой электроники, в которой проводились электромонтажные и экспериментальные работы, содержит большое количество источников ЭМИ: персональные компьютеры, ноутбуки, паяльные станции, осциллографы, высоковольтные источники накачки, лазеры.

Известно, что внутренние органы человека можно условно рассматривать как электролиты (жидкие составляющие ткани) и диэлектрики (сухожилия, хрящи и т.д.). Переменное электромагнитное поле способно вызывать нагрев биологических тканей, как за счет переменной составляющей поляризации диэлектрика, так и за счет появления ионных токов проводимости. Возникающее избыточное тепло отводится с помощью внутреннего механизма терморегуляции, однако при достижении так называемого теплового порога происходит нарушение работы этого механизма – в этом случае негативному воздействию ЭМИ наиболее подвержены органы зрения, почки, мозг, желудок, желчный пузырь. Кроме того, длительное воздействие электромагнитного поля большой интенсивности способствует развитию повышенной утомляемости, головной боли, сонливости, нарушению работы дыхательной и нервной систем и т.д.

Уровни напряженности электростатического и электромагнитного полей в рабочей зоне не должны превышать предельно допустимые значения (ПДУ), указанные в СанПиН 2.2.4.1191-03. Очевидно, что длительное пребывание в рабочей зоне, где наблюдается превышение ПДУ, способствует развитию профессиональных заболеваний.

ПДУ напряженности электростатического поля при времени воздействия  $\leq 1$  час за смену составляет 60 кВ/м. Если напряженность электростатического поля превышает указанное значение, работа без применения средств защиты не допускается. В случаях, когда напряженность электростатического поля составляет менее 20 кВ/м, время пребывания в зоне действия поля не регламентируется.

Согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 нормирование ПДУ напряженности магнитного поля осуществляется в соответствии с продолжительностью воздействия, а также в зависимости от характера воздействия поля – общий (на все тело) или локальный (кисти рук, предплечье). ПДУ напряженности постоянного магнитного поля сведены в таблицу 16.

Таблица 16 – Предельно-допустимые уровни постоянного магнитного поля

Время воздействия за рабочий день, минуты	Условия воздействия			
	Общее		Локальное	
	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл
0-10	24	30	40	50
11-60	16	20	24	30
61-480	8	10	12	15

В таблице 17 представлены ПДУ напряженности периодических магнитных полей как для условий общего, так и локального воздействия.

Таблица 17 – Предельно-допустимые уровни воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания, час	Допустимые уровни МП, Н [А/м] / В [мкТл] при воздействии	
	Общем	Локальном
≤1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
5	80/100	800/1000

С целью защиты персонала от воздействия электромагнитных полей время работы с установкой должно быть ограничено. В среднем длительность проведения экспериментальных исследований составляет от 1,5 до 3 часов, включая время, необходимое для прогрева источников накачки и газоразрядных трубок (ГРТ) активных элементов, которое составляет порядка 30 минут. Во время прогрева необходимых блоков оператор может находиться на более удаленном расстоянии от источников ЭМИ.

С точки зрения инженерно-технических мероприятий необходимо обеспечить рациональное размещение оборудования, а также по возможности экранировать источники наиболее интенсивного ЭМИ.

#### 6.1.1.2 Выделение вредных веществ

Электромонтажные работы осуществляется с использованием оловянно-свинцовых припоев для пайки, что сопровождается выделением вредных веществ: аэрозоли свинца, олова, висмута, паров спирта и канифоли. Выделяющиеся вещества оказывают негативное обще-токсическое воздействие на организм человека, в связи с чем, рабочие места оборудованы местными вытяжными устройствами [ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ].

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ для всех вышеперечисленных вредных веществ установлены предельно-допустимые концентрации (ПДК) и классы их опасности. Данная информация сведена в таблицу 18.

Таблица 18 – Предельно допустимые концентрации веществ, выделяющихся при пайке, в воздухе рабочей зоны и их классы опасности

Вещество, выделяющееся в атмосферный воздух	Предельно допустимая концентрация (ПДК)	Класс опасности
Аэрозоли свинца	0,003 мг/м <sup>3</sup>	II (высокоопасные)
Аэрозоли олова	0,05 мг/м <sup>3</sup>	I (чрезвычайно опасные)
Аэрозоли висмута	0,5 мг/м <sup>3</sup>	II (высокоопасные)
Пары спирта	5 мг/м <sup>3</sup>	III (умеренно опасные)
Пары канифоли	4 мг/м <sup>3</sup>	III (умеренно опасные)

Кроме того, следует учитывать, что активный объем каждой из герметичных ГРТ включает отсеки с порошком бромида меди. Под действием температуры порядка 500 °С происходит испарение бромида меди, далее в объеме ГРТ происходит сильноточный разряд, в результате чего молекулы CuBr распадаются отдельно на чистые медь и бром. Если в ходе эксплуатации бистатического лазерного монитора ГРТ, изготовленные из кварцевого стекла, будут разбиты, это приведет к тому, что в атмосферу рабочей зоны попадут пары меди и брома. В таблице 19 приведены ПДК брома и меди [ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ].

Таблица 19 – Предельно допустимые концентрации веществ, выделяющихся в рабочую зону при разбитии газоразрядных трубок

Вещество	Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства среды,	Класс опасности
Бром	0,5	п (пары)	II (высокоопасные)
Медь	1/0,5	а (аэрозоль)	II (высокоопасные)

Объем рабочей зоны составляет порядка 145 м<sup>3</sup>. Если ГРТ будут разбиты, и в рабочую зону попадут пары указанных веществ, их ПДК превышены не будут. Тем не менее, для предупреждения возможного общетоксического воздействия на организм человека в подобной ситуации рекомендуется проветрить рабочую зону от пяти до десяти минут.

Сам порошок бромида меди не оказывает никаких неблагоприятных влияний на организм человека, поскольку пребывает в твердом агрегатном состоянии.

### 6.1.1.3 Освещенность рабочей зоны

Одним из важнейших условий продуктивной работы является обеспечение нормальной освещенности. При плохом освещении работник испытывает утомление органов зрения и организма в целом. Рабочая зона должна исключать неправильные меры освещенности, такие как слепящие лампы, плохо освещенные опасные зоны и т.д. Несоблюдение перечисленных правил может существенно ухудшить зрение, а со временем вызывать его полную потерю.

Известно, что на практике совмещают два вида освещения: естественное и искусственное. Их совокупность представляет собой совмещенное (комбинированное) освещение. Кроме того, искусственное освещение может быть локальным, то есть организованным в строго определенном месте для целенаправленного освещения требуемых рабочих поверхностей.

Нормы естественного, искусственного и комбинированного освещения рабочей зоны устанавливает СП 52.13330.2011. В Лаборатории квантовой электроники при проведении электромонтажных работ наименьший размер монтируемых компонентов варьировался от 0,5 мм и до 1 мм. Таким размерам монтируемых компонентов соответствует разряд зрительной работы IV и подразряд б. Более детальная информация о характеристике зрительной работы и параметров освещения сведена в таблицу 20

Таблица 20 – Требования к освещению помещений промышленных предприятий

Характеристика зрительной работы				Средней точности
Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм				Св. 0,5 до 1,0
Разряд зрительной работы				IV
Подразряд зрительной работы				б
Контраст объекта с фоном				Средний
Характеристика фона				Средний Темный
Искусственное освещение	Освещенность, лк	при системе комбинированного освещения	всего	500
			в том числе от общего	200
		при системе общего освещения		200
	Р, не более			40
	Кз, %, не более			20
	КЕО еп, % (коэффициент естественной освещенности)	при верхнем или комбинированном освещении		4,0
		при боковом освещении		1,5
		при верхнем или комбинированном освещении		2,4
	при боковом освещении			0,9

В лаборатории в качестве источников света используются газоразрядные лампы низкого давления белой цветности. Лампы обеспечивают как искусственное общее, так и искусственное местное освещение. Коэффициент пульсации ламп  $K_p$  не превышает 20%, коэффициент естественной освещенности при комбинированном освещении должен составлять 2,4% [СП 52.13330.2011].

#### 6.1.1.4 Повышенный уровень шума

Понятие шума носит субъективный характер. Любые нежелательные звуки, мешающие сосредоточиться на выполнении работы, можно назвать шумом. Под термин производственный шум будем понимать все звуки, источниками которых являются используемые на производстве машины, приборы и механизмы.

Шум может привести к раздражительности работника, ослаблению его внимания, ухудшению мыслительной деятельности, а значит к снижению работоспособности. Более того, интенсивный продолжительный оказывает негативное влияние на сердечно-сосудистую и нервную системы, а также может привести к ухудшению слуха.

При эксплуатации разрабатываемого аппаратно-программного комплекса источниками шума становятся дроссели и трансформаторы, включенные как в высоковольтный модулятор, так и в источники накачки. Производимый шум можно охарактеризовать как широкополосный, колеблющийся во времени. В рассматриваемой рабочей зоне уровни звука, превышающие ПДУ в 60 Дб, установленные ГОСТ 12.1.003-99, отсутствуют. Также следует отметить, что институт расположен на достаточно далеком расстоянии от автомобильных и железных дорог, аэропортов и других источников постороннего шума.

Согласно ГОСТ 12.1.029-80 в качестве мер защиты персонала от воздействия шума могут быть использованы противозумные наушники или вкладыши.

## 6.1.2 Анализ опасных факторов производственной среды

### 6.1.2.1 Поражение электрическим током

Действие электрического тока на человека носит сложный и разнообразный характер. Проходя через его организм, электрический ток производит термическое воздействие – происходит преобразование электрической энергии в тепловую, которое выражается в получении ожогов биологических тканей. Разложение органических жидкостей и нарушение их физико-химического состава под действием электрического тока называют электролитическим воздействием. Под механическим действием тока понимают всевозможные повреждения различных тканей организма, например стенок кровеносных сосудов.

Электротравмы бывают местными и общими. Местной электротравмой называют четко выраженное локальное нарушение целостности биологических тканей. К местным электротравмам относят повреждения кожи, связок, костей. Обычно местные электротравмы излечиваются, работоспособность восстанавливается полностью или частично.

Существует понятие электрического удара. Под этим термином понимают возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, сопровождающееся сокращениями мышц. Исход такого воздействия электрического тока зависит от силы тока и продолжительности воздействия. Как правило, выделяют четыре степени электрических ударов: I – судорожное сокращение мышц без потери сознания; II – судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца; III – потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе); IV – клиническая смерть, то есть отсутствие дыхания и кровообращения.



Любое устройство, которое включается в электросеть, теоретически можно рассматривать как источник поражения электрическим током. В рабочей зоне, где разрабатывается аппаратно-программный комплекс, к таким источникам можно отнести: офисное оборудование (персональные компьютеры, ноутбуки), паяльные станции, низковольтные источники питания, источники накачки, высоковольтный модулятор. При работе с офисным оборудованием, паяльными станциями и низковольтными источниками питания опасность поражения электрическим током возникает только в случае замыкания токоведущих частей на корпус прибора. Следовательно, для предупреждения возможной опасности перед началом работы с любым из перечисленных оборудований необходимо проводить визуальный осмотр изоляции на предмет повреждения. Согласно ГОСТ 12.2.003-91 эксплуатация прибора с неисправной изоляцией недопустима.

Разрабатываемый аппаратно-программный комплекс будет потреблять электроэнергию от сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 220 В, при этом источники накачки будут преобразовывать напряжение до 12 кВ. Таким образом, эксплуатация аппаратно-программного комплекса будет требовать соблюдение установленных правил безопасности при работе с установками под напряжением свыше 1000 В [ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ, ГОСТ 721-77]. Эксплуатировать аппаратно-программный комплекс смогут только специалисты с квалификационной группой электробезопасности не ниже IV.

Работа с высоковольтными источниками накачки ведется на специальных стендах, которые подлежат заземлению с сопротивлением не более 4 Ом [ГОСТ 12.1.030-81]. Перед эксплуатацией высоковольтных установок и используемого измерительного оборудования также следует проводить визуальный осмотр на предмет состояния изоляции их токоведущих частей. Все электрические блоки аппаратно-программного комплекса заключаются в защитные кожухи, которые также подлежат обязательному заземлению.

Поскольку разрабатываемый аппаратно-программный относится к установкам с напряжением выше 1000 В, к основным средствам защиты в этом случае относятся [РД 34.03.603]:

- изолирующие клещи;
- указатели напряжения;
- клещи электроизмерительные.

Существуют также дополнительные средства защиты, к которым в свою очередь относятся [РД 34.03.603]:

- диэлектрические перчатки, боты, ковры;
- индивидуальные экранирующие комплекты;
- изолирующие подставки и накладки;
- диэлектрические колпаки;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

При необходимости проведения ремонтных работ перед их началом необходимо убедиться в отсутствии остаточного напряжения на емкостных накопителях энергии источников накачки и высоковольтного модулятора.

В качестве организационных мероприятий по обеспечению безопасного проведения работ с установками высокого напряжения проводят вводный, первичный и повторный инструктаж по электробезопасности. К организационно-техническим мерам обеспечения электробезопасности относят методы ориентации такие как: специальная маркировка частей электрооборудования, предупредительные сигналы, надписи и таблички, различные предупреждающие знаки, окраска токоведущих частей, цветовая и текстовая маркировка, световая индикация.

#### 6.1.2.2 Лазерное излучение. Фоновая засветка

Отдельно следует рассмотреть воздействие на организм человека лазерного излучения, которое по своей физической природе также является

электромагнитным. Очевидно, что негативное воздействие лазерного излучения зависит от его длины волны, мощности, времени и локализации воздействия.

Разрабатываемый аппаратно-программный комплекс должен осуществлять синхронное управление лазерами на парах бромида меди, работающих в импульсно-периодическом режиме с частотой следования импульсов до 30 кГц. Согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 ПДУ напряженности электрического (Е) и магнитного (Н) полей для частотного диапазона от 10 кГц до 30 кГц составляют 500 В/м и 50 А/м соответственно. В настоящее время ведутся работы по увеличению частоты следования импульсов возбуждения до 50 кГц. При успешной реализации поставленной задачи необходимо будет провести оценку электромагнитного поля диапазона частот от 30 кГц до 300 ГГц по величине энергетической экспозиции.

Известно, что длительное воздействие на биологические ткани лазерного излучения даже невысокой мощности может вызвать термические ожоги. Кроме того, лазерное излучение представляет непосредственную опасность для органов зрения, поскольку лазеры на парах бромида меди генерируют излучение с длиной волны 511,6 нм и 578,2 нм, что соответствует видимому спектру излучения. Следовательно, необходимо избегать зрительного контакта с прямым и зеркально отраженным лазерным лучом. Согласно ГОСТ 124.003-74 и СанПиН 5804-91 при работе с лазерными установками к средствам индивидуальной защиты относят специальные очки с определенным светофильтром, частично подавляющим длину волны генерации. Пренебрежение указанным средством индивидуальной защиты может привести к помутнению хрусталика и развитию катаракты. Кроме того, следует учесть, что помимо лазерного излучения непосредственную опасность может нести фоновая засветка, которая возникает при протекании исследуемых процессов. Таким образом, согласно СП 1009-73 необходимо для защиты лица и глаз от действия лучистой энергии засветки (например, электрической дуги), также от искр и

брызг расплавленного металла (при исследовании процессов сварки) оператор должен обеспечиваться щитками, масками или очками со специальными светофильтрами.

Также к организационным мероприятиям в данном случае согласно СанПиН 5804-91 относят размещение у входа в рабочую зону предупреждающих знаков «Опасно. Лазерное излучение».

К инженерно-техническим мероприятиям, обеспечивающим безопасность работы с лазерным излучением, следует отнести:

- ограничение лазерных пучков на конце полезной траектории специальным поглотителем;
- позиционирование лазерных пучков заведомо ниже уровня глаз.

#### 6.1.2.2 Термическое воздействие

Работа с оборудованием, отдельные элементы которого разогреваются до высоких температур, связана с риском термического поражения биологических тканей. Источники накачки аппаратно-программного комплекса работают на ГРТ. Каждая из ГРТ имеет по два отсека с соединением бромида меди, пары которого заполняют активный объем трубки при температуре порядка 500 °С. Рабочая температура ГРТ составляет порядка 650 °С. Для достижения указанного температурного режима трубку помещают в печь и изолируют от внешней среды несколькими слоями огнеупорной теплоизоляции. Следует отметить, что ГРТ помещают в специальные кожухи, которые частично предотвращают отток тепла от их внешней стенки, а также защищают оператора от случайного соприкосновения с нагретыми элементами.

Кроме того весьма высокой температуры достигают коммутационные приборы в модуляторе и источниках накачки – тиратроны. Для того, чтобы температура тиратронов не превышала предельно допустимую прибегают к комбинированию естественного и принудительного охлаждения.

## 6.2. Региональная безопасность

Как указывалось ранее, электромонтажные рабочие места в лаборатории оборудованы местными вытяжными устройствами для предотвращения попадания в дыхательную систему организма человека аэрозолей свинца, олова, висмута, паров спирта и канифоли. Посредством вытяжки вредные вещества попадают в атмосферу, однако их концентрация пренебрежимо мала, поэтому данный фактор едва ли стоит рассматривать как серьезный источник загрязнения атмосферы.

Согласно ГОСТ 17.2.1.01-76 эксплуатируемый аппаратно-программный комплекс и лазеры, синхронное управление которыми он выполняет, не вырабатывают вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, гидросферу и литосферу. Значит, справедливо утверждать, что работа такого комплекса не сопровождается вредоносным влиянием на окружающую среду.

Электронные оборудования, пришедшие в негодность и подлежащие ремонту, списывается и утилизируется. Утилизация электронного оборудования сопровождается воздействием на литосферу.

Твердые отходы производства, которые образуются при проведении электромонтажных работ, выбрасываются в урну.

## 6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При производственной и научно-исследовательской деятельности могут возникать чрезвычайные ситуации, обусловленные прежде всего техническими причинами и человеческим фактором.

В каждой рабочей зоне существует вероятность возникновения пожара, причиной которого могут быть неисправности эксплуатируемого электрооборудования, а также непрофессиональное и безалаберное проведение работ оператором с использованием электрических приборов.

Здание института построено из кирпича, который является несгораемым материалом. Зданиям из несгораемого материала присваивают вторую степень огнестойкости. Сама же лаборатория имеет категорию В по степени пожароопасности, поскольку содержит горючие материалы в холодном состоянии.

Среди причины возникновения пожара электрического характера выделяют:

- пожары в результате некачественных проектных и строительно-монтажных работ;
- возникновение короткого замыкания;
- неисправность электросети;
- перегрузка электросети, приводящая к сильному нагреву токоведущих частей и загорание изоляции;
- нарушения правил пожарной безопасности.

Возгорания в электроустановке, находящейся под напряжением, относятся к пожарам класса Е. Если при проведении электромонтажных работ происходит возгорание жидких горючих веществ, то это пожар класса В. Возгорания твердых горючих веществ относят к пожарам класса А [НПБ 166-97].

В случае возникновения пожара опасность для работающего персонала несет собой открытый огонь, токсичные продукты горения, дым, повышенная температура, пониженная концентрация кислорода, обрушение конструкций и т.д. Для обеспечения эффективной борьбы с огнем в здании должны быть средства пожаротушения, пожарные лестницы, эвакуационные выходы. Также на каждом этаже института на видных местах должны быть расположены планы эвакуации людей при возникновении чрезвычайных ситуаций. Кроме того, в помещении на потолках должны располагаться датчики системы пожарной сигнализации. Все сотрудники института должны проходить инструктаж и обучение правилам поведения при пожаре.

Также здесь должны быть рассмотрены вопросы безопасности в чрезвычайных ситуациях, причиной которых являются стихийные факторы, однако это не является целесообразным – географическое расположение города Томска исключает сильные землетрясения, наводнения и прочие стихийные бедствия. К возможным причинам возникновения чрезвычайной ситуации обусловленной природными явлениями следует отнести сильные морозы в зимнее время года. К мерам по предупреждению последствий морозов можно отнести наличие резервного отопления и резервных электрогенераторов.

#### 6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

##### 6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

В период разработки и экспериментальных исследований аппаратно-программного комплекса в Институте оптики атмосферы соблюдались все правила безопасности жизнедеятельности, подлежащие исполнению согласно федеральному законодательству и нормативным правовым актам.

Согласно Трудовому кодексу РФ работник обязан:

Поскольку разрабатываемый аппаратно-программный относится к установкам с напряжением выше 1000 В, к основным средствам защиты в этом случае относятся [РД 34.03.603]:

- соблюдать действующие нормы, правила и инструкции по охране труда;
- правильно применять коллективные и индивидуальные средства защиты;
- проходить обучение, инструктаж по безопасным приемам труда;
- немедленно сообщать своему непосредственному руководителю о любом несчастном случае, произошедшем на производстве, о

признаках профессионального заболевания, а также о ситуации, которая создает угрозу жизни и здоровью людей.

Среди обязанностей работника также можно выделить добросовестное выполнение его непосредственных обязанностей и соблюдения внутреннего трудового распорядка.

За нарушение законодательных и иных нормативных актов об охране труда работник может быть привлечен к дисциплинарной ответственности, а в отдельных случаях – к материальной и уголовной ответственности согласно законодательству РФ.

За время проведения работ по реализации аппаратно-программного комплекса трудящиеся ни разу не привлекались к работам в ночное время и к сменной работе.

Согласно Конституции РФ, ст. 37 каждый работник имеет право на безопасные и безвредные условия труда, которые должна обеспечить администрация предприятия. В случае нанесения ущерба здоровью работника из-за несчастного случая работник имеет право участвовать в расследовании, целью которого является выяснение причин возникновения несчастного случая и материальное возмещение причиненного ему вреда.

Согласно Трудовому кодексу РФ работодатель должен знать законодательство об охране труда, поскольку он несет юридическую и моральную ответственность за жизнь, здоровье и благополучие своих работников. Работодатель обязан организовывать обучение и инструктаж работников безопасным методам и приемам труда, а также периодические медицинские осмотры работников и их социальное страхование от несчастных случаев и профессиональных заболеваний.

Незнание нормативных правовых актов не освобождает ни работника, ни работодателя от ответственности, которую эти акты накладывают.



#### 6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя, таких как проектирование оборудования и осуществление производственных процессов, изложены в ГОСТ 12.2.032-78. Приведенный ГОСТ устанавливает, что каждое рабочее место должно занимать по площади не менее 6 м<sup>2</sup>, а по объему – не менее 15 м<sup>3</sup>. Кроме того, в соответствии с указанным ГОСТ устанавливается высота рабочей поверхности при организации рабочего места в зависимости от вида проводимых работы. Электромонтажные работы, производимые при разработке аппаратно-программного комплекса, частично относятся к тонким, частично к легким работам. В таблице 4.6 представлены требования к высоте рабочей поверхности согласно ГОСТ 12.2.032-78.

Рабочая зона, в которой разрабатывался аппаратно-программный комплекс, включает два оборудованных рабочих места с локальным освещением и вытяжными устройствами. Геометрические размеры пространства, отводимого для рабочего места, удовлетворяют рассмотренным требованиям.

Также в рабочей зоне расположены приборы и оборудование, эксплуатируемые при высоком напряжении. Практически все их органы управления обозначены или текстовой маркировкой. В отдельных случаях применяется светодиодная индикация.

Таблица 22 – Требования к высоте рабочей поверхности при организации рабочего места

Наименование работы	Высота рабочей поверхности, мм, при организации рабочего места		
	женщин	мужчин	женщин и мужчин
Тонкие работы (монтаж мелких деталей, станочные работы, требующие высокой точности, и др.)	835	905	870
Легкие работы (монтаж более крупных деталей, конторская работа, станочные работы, не требующие высокой точности, и др.)	700	750	725

В течение рабочего дня сотрудникам предоставляется перерыв для отдыха и питания продолжительностью в один час. Этот час не включается в рабочее время и не оплачивается. Также в течение дня устраивают несколько перерывов длительностью в 5-10 минут для проветривания помещения и кратковременного отдыха, поскольку разработка аппаратно-программного комплекса отличается малой двигательной активностью, монотонностью и длительным нахождением в закрытом помещении. Все это вызывает быструю утомляемость и естественно способствует снижению работоспособности.

## Заключение

В ходе работы была произведена оптимизация схемы источника накачки CuVr-лазера. Была разработана схема защиты источника от скачков тока и от «сквозных» токов, что предотвращает выход из строя наиболее уязвимых элементов в схеме полумостового инвертора – транзисторных ключей VT1 и VT2.

Была произведена модификация схемы запуска. Путем незначительных изменений в схеме разрядного контура средняя мощность генерации повысилась с 14 до 21 Вт при сохранении мощности, потребляемой источником от сети. При этом практический КПД, рассчитываемый по энергии, запасенной в накопительном конденсаторе, увеличился до 1,6%.

Был изучен и выявлен альтернативный метод накачки газовых активных сред с помощью цезиевой лампы, которая, в отличие от лазеров на самоограниченных переходах, является источником постоянного излучения. Для нее была проведена разработка источника возбуждения, который представляет собой резонансный ВЧ генератор.

## Список использованных источников

1. Buzhinsky R.O., Savransky V.V., Zemskov K.I., Isaev A.A., Buzhinsky O.I. Monitoring of objects shielded by the intensive background lighting // Applied physics, №3, pp. 96-98, (2009).
2. V. M. Yermachenko, A. P. Kuznetsov, V. N. Petrovskiy, N. M. Prokopova, A. P. Strel'tsov, S. A. Uspenskiy. Specific Features of the Welding of Metals by Radiation of HighPower Fiber Laser// Laser Physics, v. 21, №8, p. 1530–1537, (2011).
3. D. V. Abramov, S. M. Arakelyan, A. F. Galkin, I.I. Klimovskii, A.O. Kucherik, V.G. Prokoshev. On the possibility of studying the temporal evolution of a surface relief directly during exposure to high-power radiation // Quantum Electronics., v. 36. 6, p. 569–571, (2006).
4. Torgaev S. N. , Trigub M. V. , Gubarev F. A. , Evtushenko G. S. Monitoring of objects hidden from observation by stray lighting [Electronic resorces] // Micro/Nanotechnologies and Electron Devices: 2011 International Conference and Seminar on Novosibirsk, 30 June-4 July 2011. - IEEE Russia Siberia Section, p. 321-326. (2011)
5. Карлов, Н.В. Лекции по квантовой электронике: моногр. // Н.В. Карлов. - М., 2009. - 784 с.
6. Бохан П.А., Герасимов В.А., Соломонов В.И. и др. О механизме ОКГ на парах меди // Эффективные газоразрядные лазеры на парах металлов. – Томск: Издательская лаборатория ИОА СО РАН СССР, 1978. – С. 133–159.
7. Тригуб М.В., Торгаев С.Н., Фёдоров В.Ф. Полупроводниковые источники накачки CuBr-лазеров // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 4. – С. 164–168.
8. Красников И.В., Тригуб М.В., Евтушенко Г.С. Источник накачки CuBr-лазера с импульсным зарядом рабочей емкости // Вестник науки Сибири. 2012. № 5 (6) – С. 54–58

9. Андриенко О.С., Губарев Ф.А., Димаки В.А. и др. Лазер на парах бромида меди нового поколения // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, №10. с. 999-1009.
10. Андриенко О.С., Димаки В.А., Колбычев Г.В. и др. Лазер на парах бромида меди малой мощности // Оптика атмосф. и океана. 2004. Т. 17, №11. с. 890-894.
11. Матвеев О.И. Атомные резонансные спектрометры и фильтры (обзор) // ЖПС. 1987. Т. 46. № 3. С. 359–375.
12. Marling J.B., Nilsen J., West L.C., Wood L.L. An ultrahigh-Q isotropically sensitive optical filter employing atomic resonance transitions // J. Appl. Phys. 1979. V. 50(2). P. 610–614.
13. Flusberg A. The spectral characteristics of an atomic cesium resonance filter // J. Appl. Phys. 1983. V. 54(10). P. 6036–6037.
14. Кулясов В. Н., Шилов В. Б., Ермолаева Г. М. Узкополосные флуоресцентные фильтры на парах цезия // Оптический журнал. Письма в редакцию. 2012. с. 103-106.