

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



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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Оптимизация МОРА системы на парах бромида меди.

УДК 621. 373/. 375. 661. 856'061. 1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Тюменева Е.О.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
С.н.с. ИОА СО РАН, Доцент ОМ	Тригуб М.В.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ИШБИП	Верховская Марина Витальевна	кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ	Ахмеджанов Рафик Равильевич	доктор биологических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Плазменно-пучковые и электроразрядные технологии	Лопаткин Сергей Анатольевич	кандидат технических наук		

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»**

Отделение материаловедения

Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки: 16.03.02 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки»

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	Тюменевой Елене Олеговне

Тема работы:

Оптимизация МОРА системы на парах бромида меди.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Литературные данные, результаты выполнения УИР и прохождения практики
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Обзор литературы: принцип построения МОРА систем на основе лазеров на парах металлов – физика и техника. Особенность возбуждения и работы лазеров на парах бромида меди – механизм создания и возбуждения активной среды. Экспериментальная часть: исследования нового метода создания активной среды. Анализ возможности использования такого типа генератора для построения МОРА систем. Исследование влияния временной задержки между импульсами задающего генератора и

	усилителя мощности на эффективность работы МОРА системы.
--	--

Перечень графического материала	Презентация в Microsoft PowerPoint
--	------------------------------------

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская Марина Витальевна Кандидат экономических наук
Социальная ответственность	Ахмеджанов Рафик Равильевич Доктор биологических наук

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
с.н.с. ИОА СО РАН, Доцент ОМ	Тригуб М.В.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Тюменева Елена Олеговна		

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:

бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	18 июня 2018 г.
--	-----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01/04/2018	<i>Литературный обзор</i>	20
01/05/2018	<i>Расчетная часть</i>	30
29/05/2018	<i>Экспериментальная часть</i>	30
15/04/2018	<i>Финансовый менеджмент</i>	10
27/04/2018	<i>Социальная ответственность</i>	10
		<i>Сумма: 100 баллов</i>

Составил руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
с.н.с. ИОА СО РАН, Доцент ОМ	Тригуб М.В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Т41	Тюменева Елена Олеговна

Инженерная школа новых производственных технологий		Отделение материаловедения	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	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 научных публикациях, статьях, 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 и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Оценочная карта конкурентных технических решений</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Не разрабатывается</i>
3. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Определение ресурсоэффективности проекта</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценочная карта конкурентных технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *Иерархическая структура работ*
4. *Календарный план проекта*
5. *Бюджет проекта*
6. *Определение ресурсоэффективности проекта*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ИШБИП	Верховская Марина Витальевна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Тюменева Елена Олеговна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Т41	Тюменевой Елене Олеговне

Школа	ИШНПТ	Отдел школы	Отделение материаловедения
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	16.03.02 – «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>1. Объект исследования – система «Генератор – усилитель мощности»;</p> <p>2. Метод исследования – экспериментальное проведение работ с установкой;</p> <p>3. Рабочая зона – ИОА СО РАН;</p> <p>4. Область применения – медицина, оптическая визуализация объектов, научные исследования.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Отклонение показателей микроклимата; – Повышенный уровень электромагнитных излучений; – Вредные вещества в воздухе рабочей зоны; – Повышенный уровень шума на рабочем месте; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Электробезопасность – Пожаровзрывобезопасность 	<p>1.1 Вредные факторы рабочей зоны:</p> <ul style="list-style-type: none"> - отклонения показателей микроклимата; - электромагнитные поля - вредные вещества при пайке - повышенный уровень шума в рабочей зоне. - недостаток естественного света <p>1.2. Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - высокие значения токов; - высокое напряжение в электрической схеме <p>К возможным причинам пожара относят:</p> <ul style="list-style-type: none"> - токи короткого замыкания; - неисправность электросетей; - курение в неположенных местах.

2. Экологическая безопасность:

Согласно ГОСТ 17.2.1.01-76 эксплуатируемая лазерная установка не вырабатывает вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, а значит, ее работа не сопровождается вредным влиянием на окружающую среду.

Электронное оборудование, пришедшее в негодность и подлежащее ремонту, списывается и утилизируется. Утилизация электронного оборудования сопровождается воздействием на литосферу.

Концентрация вредных веществ, которые выделяются при проведении электромонтажных работ, не превышает предельно допустимых концентраций, приведенных в ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ.

Отходы, которые образуются при проведении электромонтажных работ, выбрасываются в урну.

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:

- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;
- выбор наиболее типичной ЧС;
- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;
- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

3.1 Перечень возможных ЧС: пожары в результате некачественных проектных и строительно-монтажных работ; возникновение короткого замыкания; перегрузка сети, приводящая к сильному нагреву токоведущих частей и загорание изоляции; нарушения правил пожарной безопасности.

В качестве наиболее вероятной ситуации рассматривается пожар.

3.2 Превентивные меры по предупреждению возгорания: соблюдать требования безопасности при работе в помещении, очищать помещения от мусора, проводить проверки состояния проводки установки, не реже одного раза в полугодие проводить практические тренировки всех задействованных для эвакуации работников

3.3 Действия при возникновении ЧС: прекратить все работы в здании, незамедлительно оповестить пожарную охрану по телефону, принять возможные меры по ликвидации последствий ЧС: эвакуация людей, тушение пожара, в случае угрозы жизни людей немедленно организовать их спасение .

4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Все сотрудники обязаны проходить обучение охране труда и проверку на знание. Работодатель обязан организовывать аттестацию рабочих мест с последующей сертификацией работ по охране труда в организации, а также периодические медицинские осмотры работников и их социальное страхование от несчастных случаев и профессиональных заболеваний

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.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ	Ахмеджанов Рафик Равильевич	Доктор биологических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Т41	Тюменова Елена Олеговна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 77 с., 20 рис., 24 табл., 28 источников.

Ключевые слова: CuBr – лазер, «генератор – усилитель мощности», МОРА система, индукционный нагрев, временная задержка.

Объект исследования – МОРА система.

Цель работы – определение оптимальных условий МОРА системы на парах бромида меди.

В данной работе был разработан генератор нового типа – индукционного, проведены серии экспериментов с традиционной (с внутренними электродами) и емкостной (с внешними электродами) накачкой при разделении функций нагрева и возбуждения. В результате получена генерация, мощность которой достигала 20мВт. Это подтвердило возможность использования индукционного нагрева в системе ГРТ.

Был реализован лабораторный макет «Генератор – усилитель мощности» на основе CuBr-лазеров. Были получены и описаны зависимости мощности от временного сдвига. Оптимальный временной сдвиг с точки зрения получения максимальной мощности равнялся 0нс, мощность, полученная при этом достигала значения 920мВт. Результаты подтверждают, что реализованный лабораторный макет может использоваться для усиления мощности.

Оглавление

Введение.....	13
1. Обзор литературы	14
1.1 Общие сведения о лазерах.....	14
1.2 Лазеры на парах металлов.....	17
1.3 Лазеры на парах меди и бромида меди.....	18
1.4 Высокочастотные лазеры на парах меди и бромида меди.....	20
1.5 Традиционная накачка лазеров.....	23
1.6 Емкостная накачка лазеров.....	25
1.7 Индукционный нагрев лазера.....	27
1.8 Система «Генератор – усилитель мощности».....	31
2. Экспериментальная часть.....	35
2.1 Исследование нового метода создания активной среды.....	36
2.2 Исследование схем для активного элемента с внешними электродами.....	38
2.3 Исследование влияния временной задержки между импульсами задающего генератора и усилителя мощности на эффективность работы «МОРА» системы.....	39
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	42
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	42
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	42
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	43
3.1.3 SWOT – анализ.....	45
3.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	48
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	48
3.2.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	50
3.3 Бюджет научно-технического исследования(НТИ).....	54
3.3.1 Затраты на расходные материалы.....	55
3.3.2 Основная заработная плата.....	55
3.3.3 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.....	56
3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды.....	57
3.3.5 Накладные расходы.....	57
3.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	58

3.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	58
4.	Социальная ответственность.....	62
	Введение.....	62
4.1	Производственная безопасность.....	62
4.1.1	Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.....	63
4.1.2	Анализ выявления опасных факторов при разборке и эксплуатации проектируемого решения.....	70
4.2	Экологическая безопасность.....	72
4.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	73
4.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	74
	Заключение.....	76
	Список использованных источников.....	77

Введение

Развития производства лазеров и лазерной техники обуславливается высоким ростом разработок лазерных установок, а также приборов для различного назначения, внедрением во многие области науки [1], использование в техники и производстве, а также расширением их промышленного выпуска.

Лазеры на парах меди находят свое применение в различных областях науки, используются в медицине и промышленности. Важной особенностью, которая отличает лазер на парах меди от других лазеров является импульсно-периодический режим работы, сопровождающийся высокой импульсной мощностью генерации и высокой частотой следования импульсов (ЧСИ). Установлено, что температура, используемая для работы лазеров на парах бромида меди меньше, чем у лазеров на парах чистой меди. Данный факт обеспечивает более упрощенную технологию изготовления активного элемента лазера. Помимо этого, такой тип лазера обладает высоким качеством пучка и высокой эффективностью [2]. Все перечисленные особенности вызывают значительный интерес разработчиков и исследователей к CuBr-лазерам.

Высокая мощность, получаемая при излучении CuBr-лазеров имеет большое значение для ряда применений [3]. Увеличение мощности приводит к увеличению объема активной среды, а, следовательно, к разработке более мощных источников накачки, что значительно удорожает метод. Другим способом увеличения мощности лазера является использование системы «Генератор - усилитель» (МОРА) [4, 5]. Данная система представляет собой конструкцию двух лазерных элементов: задающий генератор (МО) и усилитель мощности (РА). Разработка такого лабораторного макета «Генератор - усилитель» является достаточно важной и перспективной целью. Во-первых, лабораторный макет такого типа может усилить лазерное излучение, которое в свою очередь может быть использовано для ряда задач: микрообработка материалов, демонстрационные системы, зондирование атмосферы, и другие. Во-вторых, система двух лазеров взаимодействующих друг с другом может применяться для визуально-оптической диагностики. В этом случае один лазер

используется как источника подсветки, а другой используется в качестве усилителя мощности. Такая лазерная система называется бистатическим лазерным монитором. [10].

Целью данной выпускной квалификационной работы является реализация лабораторного макета «Генератор – усилитель мощности» его оптимизация. Задачами данной работы является разработка генератора нового типа, а также определение зависимости выходной мощности излучения от времени задержки между импульсом задающего генератора и усилителем мощности.

Глава 1. Обзор литературы

1.1. Общие сведения о лазерах.

Лазер — это важное достижение ученых физиков XX века. Уникальные свойства лазерного луча находят свое применение в самых разнообразных сферах — от мощных промышленных агрегатов до мелкой бытовой техники. Лазер является оптическим квантовым генератором. Данное устройство преобразует энергию накачки (электрическую, тепловую, световую или химическую) в энергию монохроматического, когерентного, узконаправленного и поляризованного потока излучения.

Физическая основа работы лазера - явление индуцированного излучения (рис. 1.1.). Лазерное излучение может быть непрерывным - с постоянной мощностью, а может быть импульсным – характеризующееся достижением сверх больших пиковых мощностей. Существует большое количество разнообразных видов лазеров, которые используют все имеющиеся агрегатные состояния различных вещества как рабочую среду. Такой тип лазеров, как лазеры на растворах красителей в широком спектральном диапазоне может генерировать большой набор частот. Габариты лазеров могут встречаться самыми разнообразными, от очень маленьких для ряда полупроводниковых лазеров до размеров огромных масштабов (например для лазеров на неодимовом стекле).

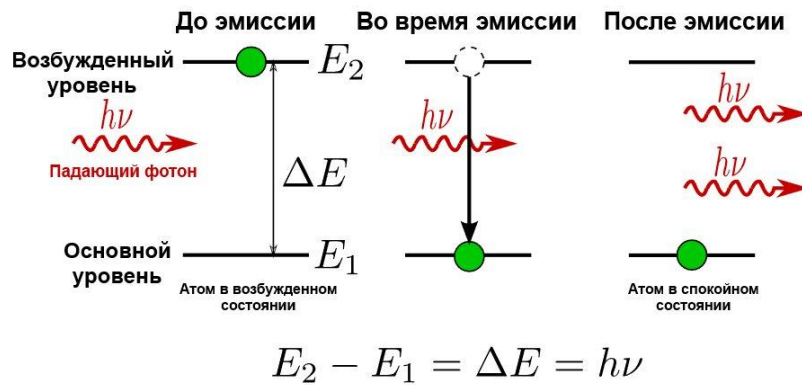


Рис. 1. 1. Индуцированное излучение

В основном все лазеры состоят из трёх основных частей:

- активная (рабочая) среда – это среда, в которой создается состояние с инверсной населенностью под действием энергии накачки;
- резонатор – это элемент лазерной конструкции, который выделяет в пространстве избирательное направление пучка фотонов и формирует световой пучок;
- система накачки – это устройство, которое создает инверсию в активной среде лазера.

Классификация лазеров.

Все лазеры подразделяются на группы в зависимости от типа используемой активной среды:

- Твердотельные лазеры на люминесцирующих твердых средах (диэлектрические кристаллы и стекла). Этот тип лазеров в качестве активаторов использует ионы железа. Способ накачки – оптический и от полупроводниковых лазеров, реализуется по трехуровневой или четырехуровневой схеме. Режим работы твердотельных лазеров может быть непрерывным, квазинепрерывным и импульсным.
- Полупроводниковые лазеры - это твердотельные лазеры, но их выделяют в отдельную группу, так как имеют другой механизм накачки, а квантовые переходы реализуются между разрешенными энергетическими зонами. Полупроводниковые

лазеры — самый широкоиспользуемый в быту вид лазеров. Также они нашли применение в системах накачки других видов лазеров, в спектроскопии и в медицинской сфере.

- Лазеры на красителях - этот вид лазеров, в которых раствор флюоресцирующих органических красителей служит в качестве активной среды. Лазерные переходы осуществляются между колебательными подуровнями возбужденного и основного электронных состояний. Накачка оптическая. Режим работы лазера может быть непрерывным или импульсным. Перестройка длины волны излучения в широком диапазоне является главным отличием от других лазеров. Лазеры на красителях нашли свое применение в спектроскопических исследованиях.

- Газовые лазеры. Активной средой данного вида служит смесь газов и паров. Они работают в непрерывном или импульсном режимах. Газовые лазеры характеризуются высокой мощностью, узкой направленностью излучения и монохроматичностью. По способу системы накачки газовые лазеры бывают с оптическим возбуждением, газоразрядные, химические и газодинамические. По типу лазерных переходов различают ионные лазеры, газовые лазеры на атомных переходах, молекулярные лазеры на электронных, осциллирующих и вращательных переходах молекул и эксимерные лазеры [8].

- Эксимерные лазеры — относятся к газовым лазерам. Работают на энергетических переходах эксимерных молекул, которые способны существовать некоторое время в возбужденном состоянии. Накачка происходит путем пропускания пучка электронов через газовую смесь, под действием которых атомы возбуждаются с образованием эксимеров. Данный тип лазеров отличается малым расходом длины волны генерации и высокими энергетическими характеристикам.

- Химические лазеры. Основной энергии этого вида лазеров предназначаются химические реакции среди элементов рабочей среды. Лазерные переходы совершаются между возбужденными колебательно-вращательными и основными уровнями сложных молекул продуктов взаимодействия. Для получения химической реакции в среде, необходимо чтобы постоянно присутствовали свободные радикалы, для этого применяются разнообразные методы влияния на

молекулы для их диссоциации. Отличием химических лазеров от других является большая мощность импульсного и непрерывного излучения, а также широким спектром генерации.

- Лазеры на свободных электронах. Активной средой данных лазеров служит поток свободных электронов, колеблющихся во внешнем электромагнитном поле и распространяющихся с релятивистской скоростью в направлении излучения. Главной характерной чертой считается возможность плавной широкодиапазонной перестройки частоты генерации [8].

- Волоконный лазер — разновидность лазеров, резонатор которого создан на базе оптического волокна. Внутри резонатора излучение генерируется полностью или частично. При целиком волоконной реализации такой лазер носит название цельноволоконный. При комбинированном использовании волоконных, с добавлением других элементов в конструкцию лазера, он называется волоконно-дискретным или смешанным.

1.2 Лазеры на парах металлов.

В качестве активной среды в лазерах на парах металлов используют пары металлов, которые возбуждают и нагревают с помощью электрического разряда. Лазеры на парах чистой меди и на парах бромида меди принадлежат к газоразрядным лазерам на самоограниченных переходах. Генерация эти лазеров имеет ограничение по времени, поэтому работа данных лазеров имеет импульсный режим. Инверсная населенность в этой среде обеспечивается с помощью сильноточного импульсного разряда в течении короткого времени.

Лазеры на парах металлов имеют малую длительность импульса генерации, которая лежит в интервале от 10нс до 50нс, большую среднюю и импульсную мощность, высокую частоту следования импульсов - сотни кГц и КПД $\geq 1\%$, что не характерно для газовых лазеров. В лазерах на парах металлов активной средой служит газ, в связи с этим, данные лазеры имеют предельно узкую ширину линии излучения,

с высокой стабильностью ее положения на шкале частот. Лазеры на парах металлов имеют хорошее качество пучка, коэффициент усиления равен 10100 Дб/м.

Выше перечисленные качества лазеров на парах металлов обуславливают широкое применение во многих областях:

- активные оптические системы с усилителями яркости.
- накачка перестраиваемых лазеров,
- обработка материалов,
- разделение изотопов,
- зондирование атмосферы,
- фотолитография,

1.3. Лазер на парах меди и бромида меди.

Лазерам на парах меди принадлежит наибольшая эффективность из всех видов лазеров, которые существуют на переходах атомов металлов, в связи с тем, что атому меди соответствует наиболее близкая к идеальной конфигурации форма энергетических уровней, необходимая для создания инверсной населённости.

Схема лазерных уровней атома меди показана на рисунке 1.2. Инверсия на переходах $^2P_{3/2} - ^2D_{5/2}$ ($\lambda_1 = 510.6\text{нм}$) и $^2P_{1/2} - ^2D_{3/2}$ ($\lambda_2 = 578.2\text{нм}$) реализуется в условиях ионизационной неравновесности плазмы. В традиционном представлении в данный период константы скоростей возбуждения резонансных уровней больше, чем метастабильных. Скорость распада метастабильного уровня меньше чем резонансного, по этой причине населенность на нем со временем возрастает, и инверсия исчезает [5]. Продолжительность импульсов генерации лазера на парах меди составляет десятки наносекунд (30-50нс). В период между импульсами, восстанавливаются основные компоненты и параметры плазмы: температура (T_e) и концентрация электронов (n_e), заселенность главного, метастабильного и резонансного уровней атома меди (N_0, N_m, N_r). Активная среда Cu-лазера при достаточно больших частотах следования импульсов и вводимых мощностях в течение межимпульсного периода не успевает восстановиться целиком. Поэтому для

импульсно-периодического режима присуще наличие эффектов накопления, которые определяются энергией импульсов и частотой повторения накачки. В импульсно-периодическом режиме достигается наиболее высокая средняя мощность и коэффициент полезного действия лазера, по сравнению с режимом сдвоенных импульсов. Режим возбуждения такого рода позволяет осуществить работу активного элемента лазера в режиме саморазогрева.

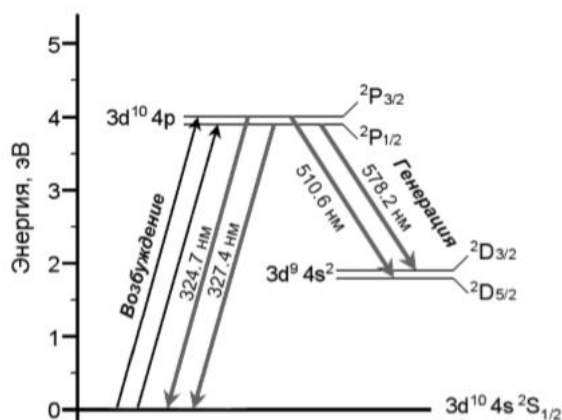


Рис.1.2. Схема уровней атома меди

На переходах атома меди на линиях 510 (зеленая) и 578 нм (желтая), с одного активного элемента получены наивысшие выходные мощности излучения (более 700 Вт [6]) и КПД – 3%. В настоящее время достаточно обширное применение получили лазеры на парах галогенидов меди. Этот способ получения паров рабочего вещества характеризуется диссоциацией галогенидов меди с последующим возбуждением атомов меди. Одна из первых генераций в парах галогенидов меди была получена в парах CuCl при работе в режиме сдвоенных импульсов. В последующем было установлено, что самым эффективным из всех лазеров на галогенидах меди является CuVr-лазер (ЛПБМ). Данный вид лазеров обладает рядом достоинств в отличии от обычных лазеров на парах меди. Температура стенок лазерной трубки значительно меньше (500-700 °С), выход лазера на рабочий режим занимает значительно меньше времени, конструкции ГРТ более упрощена, продолжительность импульса излучения и частота следования импульсов увеличены [14].

1.4. Высокочастотные лазеры на парах меди и бромида меди.

Первыми, кто получил частоты следования лазера на парах меди 100 и более кГц были А.И. Баранов, М.А. Алаев, Н.В. Верещагин и др. [13] и Фаленом с ГРТ малого диаметра. Исследования проводились с саморазогревным активным элементом, который имел длину разрядного канала 50 см и диаметр 0,7 см. Буферным газом служил неон при давлении 10–15 торр. В итоге была получена генерация на переходах меди с ЧСИ 20, 50 и 100 кГц. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Энергетические характеристики и характеристики накачки ЛПМ при различных ЧСИ

ЧСИ, кГц	p_{Ne} , торр	$U_{Сн}$, кВ	$C_{н}$, пФ	$P_{Г}$, Вт	$P_{н}$, кВт	$t_{н}$, нс	$E_{уд}$, мДж/см ⁻³
20	15	11	2200	3.5	24	7	7
50	10	11,5	1100	1.5	6	5	3.8
100	10	12	670	1.0	1	5	2.5

Стремительный спад импульсной мощности создатели данной работы связывают со следующими факторами: с возможным повышением концентрации метастабильных атомов меди при значительных ЧСИ; с уменьшением энергии накачки из-за снижения рабочей емкости с увеличением ЧСИ; с неоптимальными условиями генерации [15].

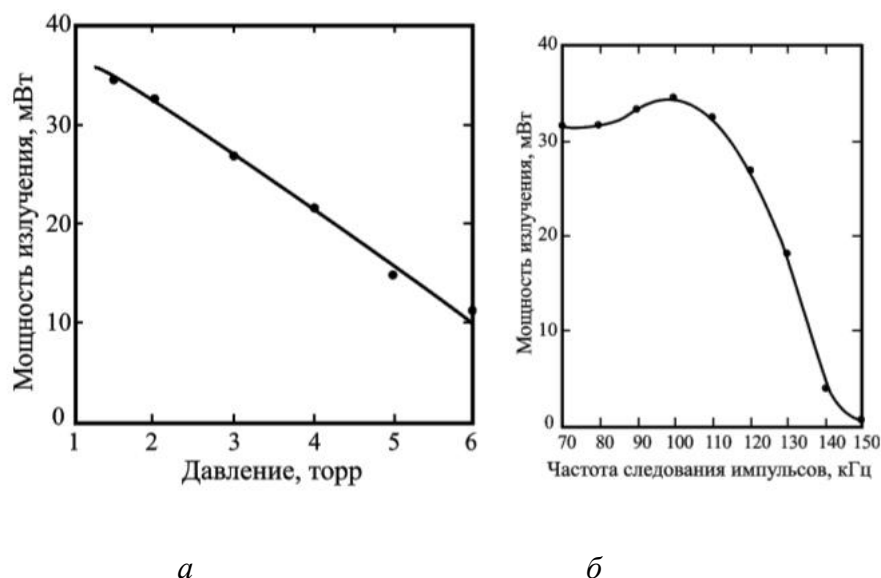


Рис. 1.3. Зависимости мощности излучения от давления буферного газа (а) и частоты следования импульсов (б).

Использование разряда в узкой трубке, диаметр которой равен 1,6 мм при низком давлении буферного газа неона 1,5 торр увеличивает скорость диффузионного ухода метастабилей на стенку с дальнейшим их тушением, что позволило создателям работы получить генерацию на частоте 150 кГц. На рисунке 1.3 представлены полученные в данной работе зависимости выходной мощности от давления буферного газа при ЧСИ 100 кГц и от ЧСИ при давлении неона 1,5 торр. Экспериментальные исследования возможности дальнейшего увеличения ЧСИ лазера на парах меди за счет оптимизации импульса возбуждения помогло Солдатову А.Н. и Федорову В.Ф. получить на выходе генерацию на частоте 235 кГц. В эксперименте использовался активный элемент с диаметром разрядного канала 0,8 см и 1 см и длиной от 18,6 до 36 см. На рисунке 1.4(а) показано временное распределение суммарного импульса генерации (1) и генерация на длинах волн 510,6 нм (2) и 578,2 нм (3). В этом случае при частоте 60 кГц длительность импульса на линии 510,6 нм по уровню 0,5 составляла 8 нс. При возрастании частоты уменьшалась длительность импульса возбуждения. Величину энерговклада и скорость его ввода в активную среду регулировали с помощью напряжения на рабочей емкости. Поддержание постоянной температуры активной среды при различных ЧСИ контролировалось выполнением равенства $P_{уд} = E_{уд} \cdot f = P_n / V = const$, где P_n и $P_{уд}$ – полная и удельная средняя мощности соответственно, вкладываемые в среду с объемом V ; $E_{уд}$ –

удельный энерговклад в ГРТ импульса накачки. Зависимости импульса тока (1) и импульса генерации (2) от ЧСИ представлены на рис. 1.3(б). Авторы отмечают, что рост ЧСИ наблюдается при уменьшении диаметра ГРТ. По мнению, это вызвано увеличением скорости рекомбинации заряженных частиц на стенке ГРТ [16].

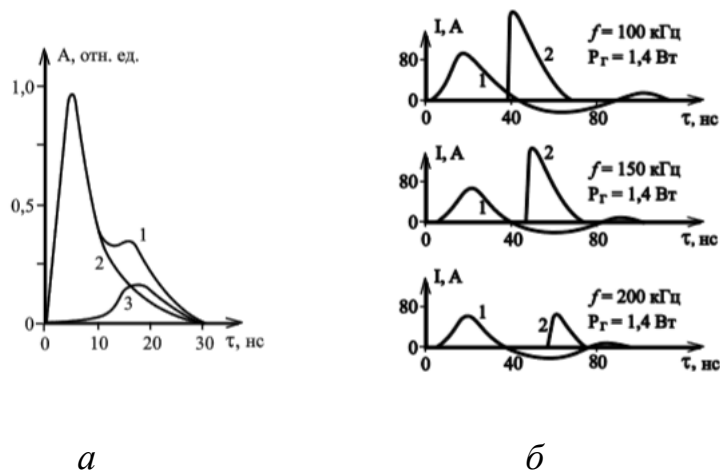


Рис. 1.4. Зависимость параметров генерации лазера при высоких ЧСИ.

Авторы [16] делают акцент на том, что наблюдается рост ЧСИ при уменьшении диаметра ГРТ (кривые 1, 2). По их мнению, данные наблюдения вызваны увеличением скорости рекомбинации заряженных частиц на стенке ГРТ. В табл. 1.2 представлены параметры разрядных условий. По данным в таблице видно, что в области частот 100–200 кГц оптимальная величина удельной вводимой мощности составляет 20–30 Вт/см³, а энерговклад 0.2 – 0.4 мДж/см³. Авторы предполагают, что меньшие значения $P_{уд}$ способствуют быстрому восстановлению параметров плазмы в межимпульсном периоде и ослабляют отрицательное проявление накопительных эффектов.

Таблица 1.2. Параметры разрядных условий.

f , кГц	C , пФ	P_{Ne} , торр	P_v , кВт	$P_{уд}$, Вт/см ³	$E_{уд}$, мДж/см ³	$P_{г_уд}$, мВт/см ³
20	750	20	0,74=3,7×0,2	14	0,7	77
60	750	10	1,15=2,9×0,4	29	0,48	38
100	750	2	1,55=2,6×0,6	42	0,42	3.8
100	500	10	0,9=2,5×0,36	35	0,35	139
100	500	40	1,35=2,9×0,46	46	0,46	122
100	220	10	0,9=3,0×0,3	22	0,22	122
150	220	10	1,2=3,0×0,4	33	0,22	78
150	220	10	0,78=2,1×0,37	16	0,11	111
210	220	10	1,54=2,3×0,67	27	0,13	2.8
235	220	10	0,95=1,9×0,5	21	0,09	1.1

Настройка лазера на максимальную выходную мощность в режиме саморазогрева проводилась при частоте 210 кГц и 150 кГц [17]. Затем снижался энергозатрат путем понижения напряжения и, по мере уменьшения температуры активной среды, регулировкой зарядного напряжения определялась максимальная мощность генерации при зафиксированной частоте или максимальная ЧСИ. Полученные результаты демонстрируют резервы повышения коэффициента полезного действия лазера в несколько раз при переходе от саморазогревного режима к режиму с самостоятельным подогревом, а кроме того показывают вероятность последующего повышения предельной ЧСИ в лазере на парах меди.

Экспериментальным путем продемонстрировано, что максимальная частота следования импульсов может быть значительно повышена при оптимизации энергозатрат и сокращение длительности импульса возбуждения.

1.5. Традиционная накачка лазеров.

Значимой характерной чертой лазеров на самоограниченных переходах в парах металлов считается возможность работы при значительно высоких частотах следования импульсов – десятки-сотни кГц. Наибольшая частота повторения импульсов, которая была достигнута, составляла 300 кГц и была получена для лазера на парах бромида меди

Авторам [18] данной работы удастся получить частоту следования импульсов генерации 400 кГц в лазере на парах бромида меди.

Сбор схемы накачки лазера основан на использовании модуляторной лампы ГМИ-32Б. Рабочая емкость составляла 1100 пФ. Активный объем был реализован в режиме частичного разряда рабочей емкости. Частота следования импульсов была задана стандартным генератором импульсов Г5-48.

Для выполнения исследований реализовали кварцевую газоразрядную трубку внутренний диаметр которой составлял 0,5 см, а активная длина составила 24 см (рис 1.5.).

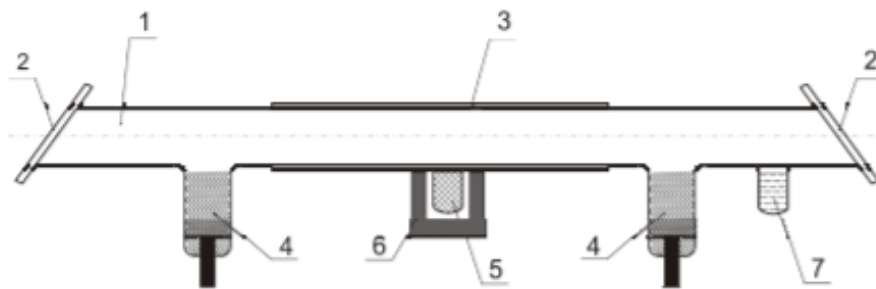


Рис. 1.5. Схема ГРТ с внутренними электродами: 1) - кварц; 2) - кварцевые окна; 3) - теплоизолятор; 4) - электроды; 5) - медь; 6) – нагреватель; 7) - генератор.

Окна выполнены из оптического стекла (К-8). Электроды имеют форму кварцевых стаканов, которые засыпаны стружкой из меди. С помощью электродов от ламп ИФП 1200 осуществлялся токоввод. ГРТ наполнялась буферным газом неоном при давлении 8 кПа. Расположение порошка бромид меди находилось в отдельном резервуаре с самостоятельным нагревом. Добавление водорода (или HBr) в проведенных экспериментах не использовались, но задержка между приложенным напряжением и импульсом тока на ГРТ ~ 30 нс, говорит о наличии неконтролируемого числа этих составляющих в активном объеме лазера. В дальнейшем планируется провести эксперимент с добавлением водорода.

На рисунке 1.6. показаны осциллограммы импульсов тока, напряжения и генерации. Частота была взята 250 кГц и 400 кГц, напряжение накачки лазера на парах меди составило 10 кВ. По осциллограммам видно, что импульс генерации появляется сразу после напряжения, показывающее максимальное значение, а также импульс генерации возникает на максимуме энергии [18]. Чем больше частоты следования импульсов, тем меньше мощность генерации. Авторами замечено, что при частоте

400 кГц генерация наблюдается, но она неустойчива, а ГРТ перегревается. Для решения этой проблемы создатели предлагают уменьшать вводимую энергию в разряд за импульс, это осуществляется путем уменьшения импульса накачки.

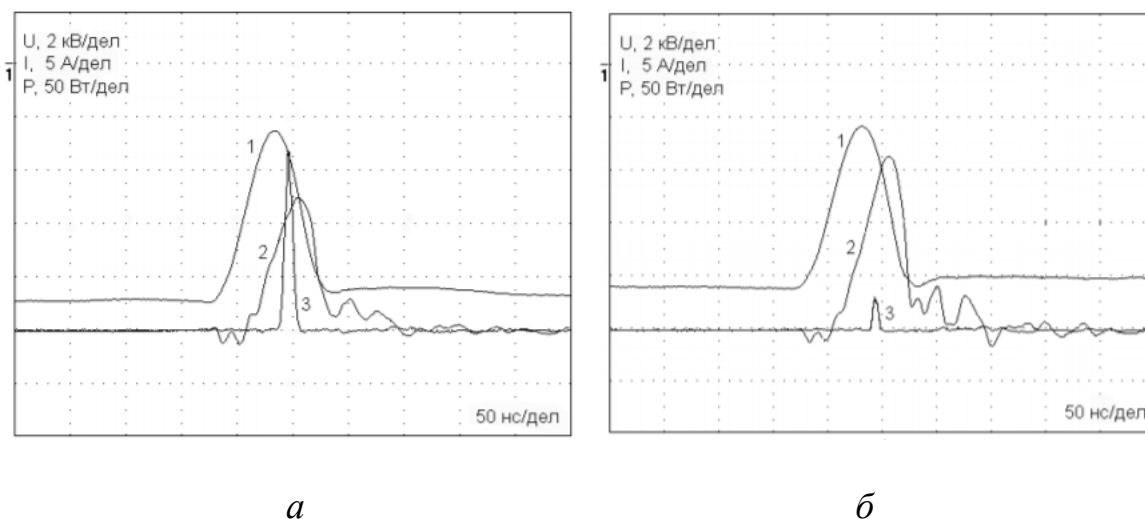


Рис. 1.6. Полученные осциллограммы: 1) импульс напряжения, 2) импульс тока и 3) импульс генерации. Частота следования импульсов: а) 250 кГц и б) 400 кГц

Последующее развитие в область наиболее повышенных частот повторения импульсов и увеличение эффективности работы лазера, связано с применением активных добавок (типа водорода, HBr) и укорочением импульса накачки. В дальнейшем, перспективным может оказаться использование высоких ЧСИ накачки для возбуждения активной среды способом емкостного разряда.

1.6. Емкостная накачка лазеров.

Авторы [19] данной работы предполагают, что впервые ими был использован высокочастотный емкостной разряд для возбуждения паров галогенида металла в лазерах на самоограниченном переходе.

Схема ГРТ продемонстрирована на рисунке 1.7. Для вакуумной оболочки газоразрядной трубки был использован кварц. Электроды изготовлены из танталовой фольги, ширина которых была 10 см. Располагались электроды на внешней стороне газоразрядной трубки, расстояние между ними было принято 28 см. Диаметр рабочего канала равнялся 12 мм, а длина ГРТ использовалась 68 см. Буферным газом служит неон при давлении 20кПа. Режим работы ГРТ – саморазогрев. Активная среда

накачивалась по схеме прямого разряда накопительного конденсатора с шунтирующей индуктивностью. По рис.1.8(б) видны затухающие колебания напряжения и тока с частотой 1 МГц, данный факт обуславливается реактивными параметрами газоразрядной трубки и разрядного контура [19].

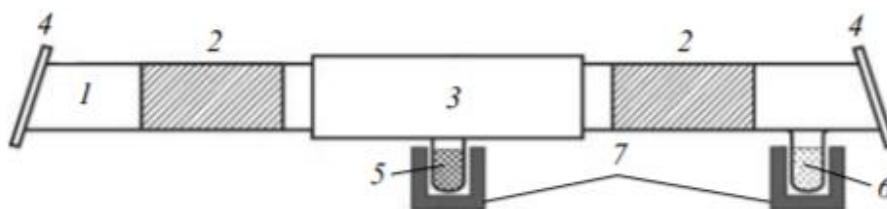


Рис. 1.7. Схема газоразрядной трубки с внешними электродами. 1) – кварц; 2) – электроды; 3) – теплоизолятор; 4) – кварцевые окна; 5) – медь; 6) – генератор; 7) – нагреватель.

По полученным результатам исследований на рисунке 1.8(а) можно выявить ряд заключений: генерация возникает только в основном максимуме накачке следом после максимума напряжения. Продолжительность импульса генерации варьируется в интервале от 20 до 30 нс и соответствует 0,1 уровню от амплитуды. Продолжительность существования колебаний составляет 8 – 10 мкс. Выяснить природу возникновения колебаний и их роли необходимо, так как их наличие снижает эффективность накачки [20].

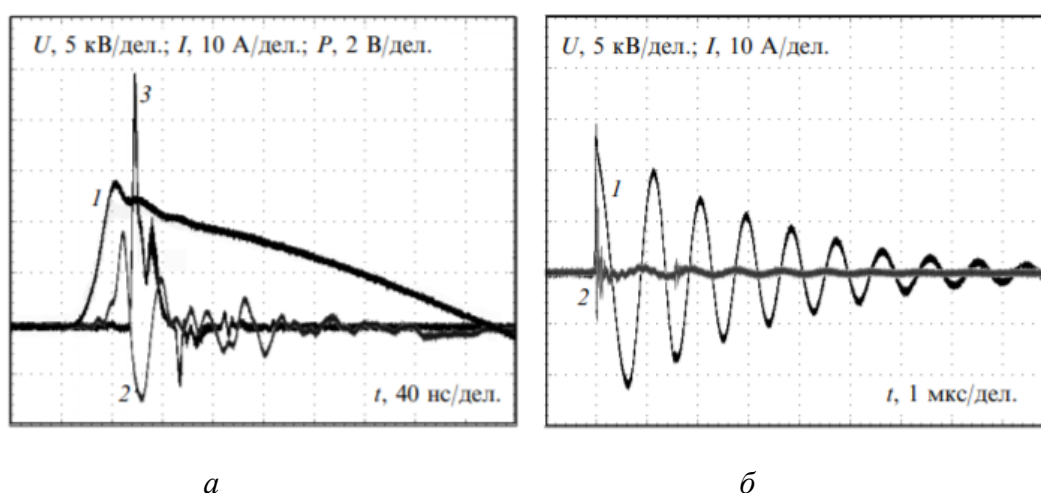


Рис. 1.8. а) типичная осциллограмма напряжения (1), тока (2) и генерации (3); б) осциллограмма напряжения (1) и тока (2). $f = 35 \text{ кГц}$, $C = 200 \text{ нФ}$, $p = 20 \text{ кПа}$.

Авторы [20] данной работы отмечают, что проведение данного эксперимента с внешним расположением электродов имеет ряд преимуществ: значительно

упрощается конструкция ГРТ, которая исключает контакт электродов с рабочей зоной. Предложенная конструкция ГРТ позволяет работать как с парами CuBr в чистом буферном газе неоне, так и с добавкой HBr в активную среду. В результате получена средняя мощность излучения 1Вт при мощности высоковольтного выпрямителя 1кВт.

1.7. Индукционный нагрев лазера.

Решению главных проблем, связанных с повышением мощности и эффективности работы лазеров на самоограниченных переходах атомов различных металлов, может послужит использование новых методов возбуждения активной среды. Использование индукционного разряда для возбуждения активной среды газовых лазеров было предложено в ряде публикаций. Данный способ с определенным успехом использовали авторы статей в [4–6] для накачки лазеров на молекулярных (H₂, N₂, XeCl, HF, XeF) и атомарных (He, F, Ne) рабочих средах. Первыми, кто апробировал метод индукционного возбуждения лазера на парах меди были авторы экспериментальной работы [21], несмотря на то, что получить генерацию не удалось, но авторы заметили значительное увеличение интенсивностей линий 510 и 578 нм атома меди. Численные результаты экспериментов первыми опубликовали авторы работы [22], полученные результаты указывали на возможность реализации индукционного лазера на парах металлов. Подчеркнем тот факт, что безэлектродный индуктивный метод возбуждения, помимо вероятных технических положительных сторон, представляет заинтересованность с фундаментальной точки зрения.

Проведение экспериментов и теоретических исследований с использованием индукционного способа является весьма актуальной задачей. В работе представлены предварительные итоги численного моделирования работы лазера на парах меди. Проанализированы конструкционные параметры и физические условия, при которых можно реализовать индукционную накачку лазера.

На рисунке 1.9 представлена одна из простых схем ЛПИМ с использованием импульсного индукционного разряда. Представленная ёмкость C через ключ

разряжается на индуктор. Индуктор выполнен в виде сплошного витка, который облегает теплоизолятор и трубку, рабочей средой которой являются пары меди и неона. Индуктор служит первичной обмоткой трансформатора, а плазма является вторичной обмоткой. Характерной особенностью лазеров на парах металлов от индукционных лазеров, является наличие толстой теплоизоляции, увеличивающей расстояние между индуктором и плазмой, это в свою очередь значительно уменьшает паразитную ёмкость и оправдывает использование более простой схемы трансформатора. Также значительно снижается значение коэффициента связи, а это неблагоприятно отражается на его работе.

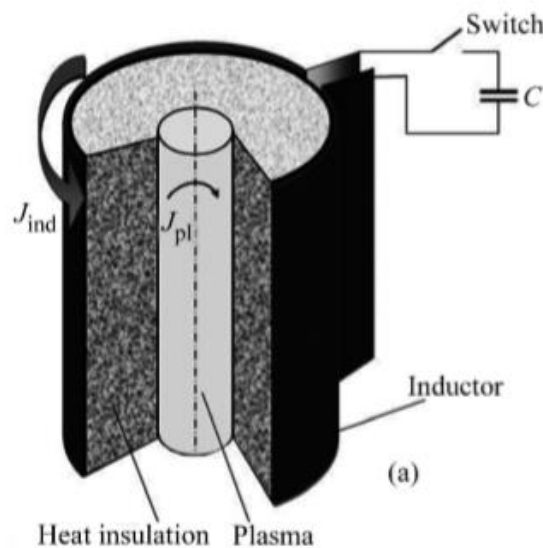


Рис. 1.9. Конструкция лазера на парах меди с использованием индукционного разряда.

На рисунке 1.10 L_1 является индуктивностью индуктора, J_1 – ток в первичной цепи, L_2 - индуктивность плазмы, а J_2 – азимутальный ток в плазме. Значения L_1 , L_2 и индуктивности M вычислялись по формулам из [23]. Модельная функция, которой описывается электрическое сопротивление ключа $R_k(t)$, задает величину джоулевых потерь и время коммутации в цепи трансформатора. Учитывалось R_{ind} - омическое сопротивление индуктора. Напряжение на ёмкости $U_c(0)$ и индуктивность L цепи были заданы изначально.

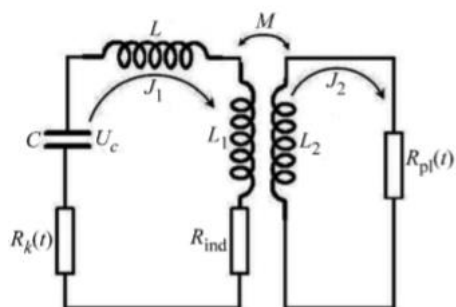


Рис. 1.10. Электрическая схема с использованием импульсно – периодического индукционного нагрева.

Полученные результаты продемонстрированы в таблице 1.3. Первый опыт проводился при облепании индуктором внешнюю часть активного элемента, в результате получили самый маленький коэффициент связи, который равен 0,18. При уменьшении радиуса индуктора до 2,5 см, а также при уменьшении толщины теплоизолятора, наблюдается возрастание коэффициента связи до значения 0,38. Динамические процессы рассмотрены на примере третьего варианта в таблице.

Таблица 1.3. Варианты численных экспериментов.

№ вар.	r_{pl} , см	r_{ind} , см	$r_{ind} - r_{pl}$, см	L_1 , нГн	L_2 , нГн	M , нГн	K_r
1	1	5	4	11	0.12	0.215	0.18
2	1	3.4	2.6	5.1	0.12	0.219	0.27
3	1	2.5	1.5	2.7	0.12	0.221	0.38

На рисунке 1.11(а) показана зависимость мощности W_{av} и длительности импульса тока t_{im} индукционного ЛПМ от величины K_r . На рисунке 1.11(б) аналогичная зависимость физического Q_{ph} и технического Q_t КПД лазера, определяемых как отношение энергии импульса излучения лазера к электрической энергии, вложенной в плазму к моменту окончания импульса генерации или к полной вложенной в плазму энергии за импульс накачки соответственно [21].

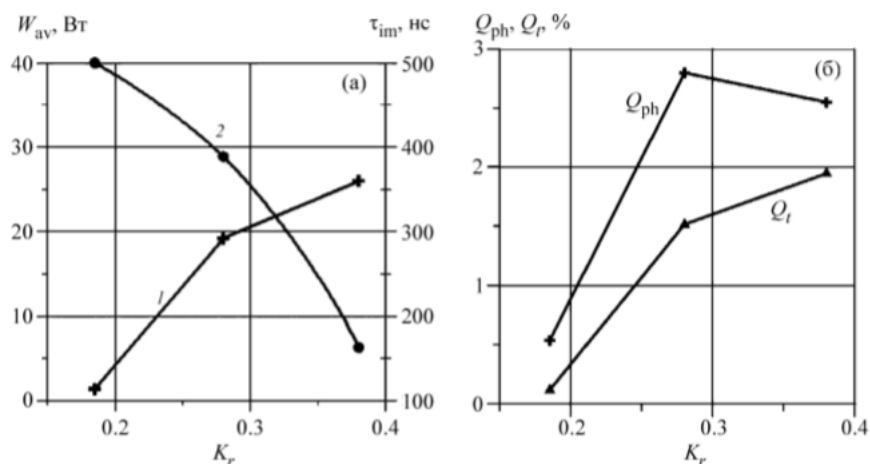


Рис. 1.11: Изменение характеристик индукционного ЛПМ от величины K_r , (а): 1 – W_{av} , 2 – τ_{im} , (б): физический Q_{ph} и технический Q_t КПД лазера.

Проведенные расчёты демонстрируют, что обычный ЛПМ импульс тока имеет форму аperiodического разряда, длительностью которого равна 150–200 нс, а при индукционном способе возбуждения ЛПМ, импульсом тока является цуг высокочастотных колебаний, период которых равен 10–20 нс. О высокой скорости ввода энергии в плазму лазера с индукционной накачкой свидетельствует выделение 75% от всей энергии, которая вложена в плазму в течение импульса тока τ_{im} и подъём температуры электронов до 4.5 эВ. Полученные результаты являются положительными факторами для эффективной работы лазера. Рабочая температура газа была в пределах нормы - 2210 К для работы ЛПМ [22].

Полученные данные численного исследования подтверждают возможность создания эффективного ЛПМ, возбуждаемого импульсно-периодическим индукционным (безэлектродным) разрядом. В дальнейшем необходимо детально исследовать работу такого ЛПМ и провести оптимизацию по основным задаваемым физическим и геометрическим параметрам для определения предельных выходных характеристик, конструктивных особенностей и перспективы его использования на практике. Особый интерес связан с возможным решением задачи о долговечности и эффективности, что значительно расширит круг применений ЛПМ в промышленности, в физических исследованиях, диагностике многофазных газовых потоков и в медицине.

1.8. Система «Генератор – усилитель мощности».

Мощность излучения CuBr-лазеров имеет большое значение для ряда применений [23, 24]. К увеличению мощности приводит увеличение объема активной среды, однако для этого требуется разработка более мощных источников накачки [7]. Другим способом увеличения мощности лазера является использование системы «Генератор - усилитель» (МОРА) [25,26]. Такая система представляет собой конфигурацию двух лазерных элементов: задающий генератор (МО) и усилитель мощности (РА). Разработка лабораторного макета «Генератор - усилитель» является очень важной и перспективной задачей. Прежде всего, такой лабораторный макет позволит усилить лазерное излучение, которое может быть использовано для ряда задач. Кроме того, система двух взаимодействующих лазеров может применяться для визуально-оптической диагностики. В этом случае первый лазерный элемент используется в качестве источника подсветки, а второй используется в качестве усилителя мощности. Такая лазерная система называется бистатическим лазерным монитором. Его использование может свести к минимуму ограничения моностатического лазерного монитора [27].

В данной работе рассматривается реализация лабораторного макета «Генератор – усилитель мощности», а также определяется зависимость ее выходной мощности излучения от времени задержки между созданием инверсной населенности задающего генератора и усилителем мощности. Также определяются оптимальные условия работы системы для получения максимального коэффициента усиления.

Лабораторный макет представлен на рисунке 1.12. В качестве задающего генератора и усилителя мощности были использованы активные среды на парах бромида меди, формирующие излучение на двух длинах волн: 510.6 нм и 578.2 нм.

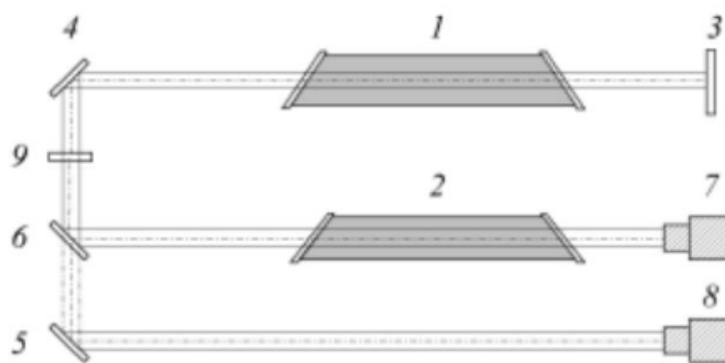


Рис. 1.12. Лабораторный макет «Генератор – усилитель мощности»: 1 – генератор; 2 – усилитель мощности; 3, 4, 5 – «глухие зеркала»; 6 – дихроическое зеркало; 7, 8 – коаксиальные фотоэлементы ФЭК-14К; 9 – полосовой фильтр.

Блок управления обеспечивает накачку обоих активных элементов лазера с частотой следования импульсов (ЧСИ) 14 кГц. Этот блок представляет собой комплекс из двух компонентов: цифровой схемы управления (ЦСУ) и высоковольтного модулятора (М). ЦСУ формирует все требуемые импульсы управления для запуска механизма накачки [281]. Модулятор генерирует импульсы запуска коммутаторов источников накачки. Переключение коммутаторов происходит с определенной временной задержкой относительно друг друга [29]. Эта задержка называется временным сдвигом, и она изменяется посредством органов управления модулятора в диапазоне от 0 нс до 40 нс. Это позволяет согласовать режимы работы задающего генератора и усилителя мощности таким образом, чтобы выходная мощность достигала максимального значения.

Возбуждение активной среды представляло собой прямой разряд накопительного конденсатора на газоразрядные трубки (ГРТ) с помощью высоковольтного коммутатора - тиратрона. Параметры накачки задающего генератора были следующими: накопительная емкость составляла 1100 пФ, анодное напряжение тиратрона достигало 9 кВ. Выходная мощность составляла около 2,3 Вт. Габаритные размеры ГРТ задающего генератора: длина активной зоны - 90 см, диаметр - 5 см.

В случае усилителя мощности накопительная емкость и анодное напряжение тиратрона составляло 1150 пФ и 8 кВ соответственно. Габаритные размеры ГРТ усилителя мощности: длина активной зоны - 45 см, диаметр - 5 см.

«Глухое» зеркало (3) было использовано для создания положительной обратной связи, чтобы увеличить выходную мощность излучения задающего генератора. «Глухие» зеркала (4, 5) и дихроичное зеркало (6) использовались для заведения лазерного пучка в активную среду усилителя и на коаксиальные фотоэлементы ФЭК-14К (7, 8), которые регистрировали световые импульсы. Полосовой фильтр (9) добавлялся в оптическую схему для выбора длины волны.

Трехканальные блоки управления температурой обеспечивали требуемую температуру внешних стенок ГРТ (~ 680 °С), контейнеров с CuBr (~ 500 °С) и контейнеров с HBr (~ 120 °С).

На рисунке 1.13 показано, как выходная мощность системы «Генератор – усилитель мощности» зависит от временного сдвига. Кривые 1 и 2 показывают эту зависимость для двух случаев: без добавления HBr и с добавлением HBr в активную среду усилителя соответственно. Символ «-» соответствует случаю, когда импульс излучения задающего генератора поступает в активную среду второго лазерного элемента после формирования импульса сверхизлучения усилителя. Символ «+» напротив соответствует тому, что импульс излучения задающего генератора поступает в активный объем усилителя еще до формирования импульса сверхизлучения. Кривая 1 достигает максимального значения мощности 870 мВт, когда временной сдвиг составляет -2 нс. Кривая 2 достигает максимальной выходной мощности 1,8 Вт при временном сдвиге +2 нс. Разница между полученными значениями временного сдвига настолько мала, что ей можно пренебречь [28].

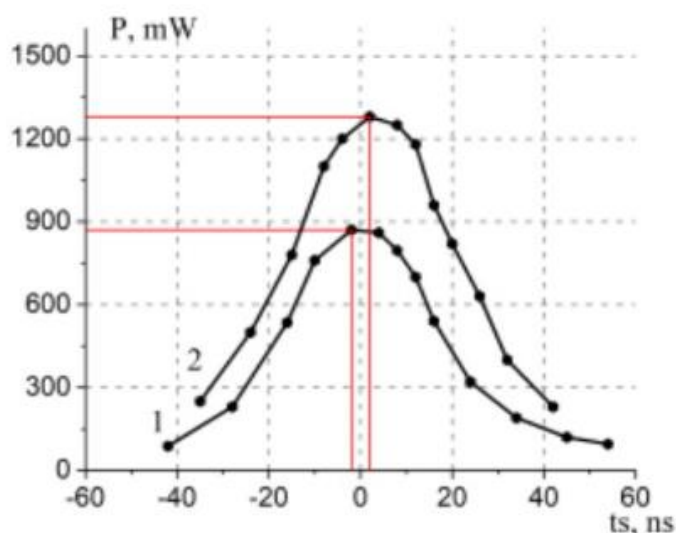


Рис. 1.13. Зависимость выходной мощности излучения лабораторного макета «Генератор – усилитель мощности» от временного сдвига: 1) без добавления HBr; 2) с добавлением HBr

Полученные результаты подтверждают работоспособность лабораторного макета «Генератор – усилитель мощности». Блок управления, включающий цифровую схему управления и модулятор, обеспечивает согласование режимов работы двух активных лазерных элементов. Следовательно, эта система может использоваться для усиления мощности и получения изображения с помощью бистатического лазерного монитора.

Глава 2. Экспериментальная часть

Целью данной работы является оптимизации параметров системы «Генератор – усилитель мощности» для получения максимальной мощности генерации. Задачами данной работы является разработка генератора нового типа, а также определение зависимости выходной мощности излучения от времени задержки между импульсом задающего генератора и усилителем мощности.

Повышение мощности излучения имеет большое значение для разных областей, например, для визуально-оптической диагностики. Но как было сказано выше, увеличение мощности приводит к увеличению объема активной среды, а, следовательно, к разработке более мощных источников накачки, что значительно удорожает метод. Другим способом увеличения мощности лазера является использование системы «Генератор - усилитель» (МОРА). Такая система представляет собой конфигурацию двух лазерных элементов: задающий генератор (МО) и усилитель мощности (РА). На рисунке 2.1 представлена структурная схема системы «Генератор – Усилитель мощности».

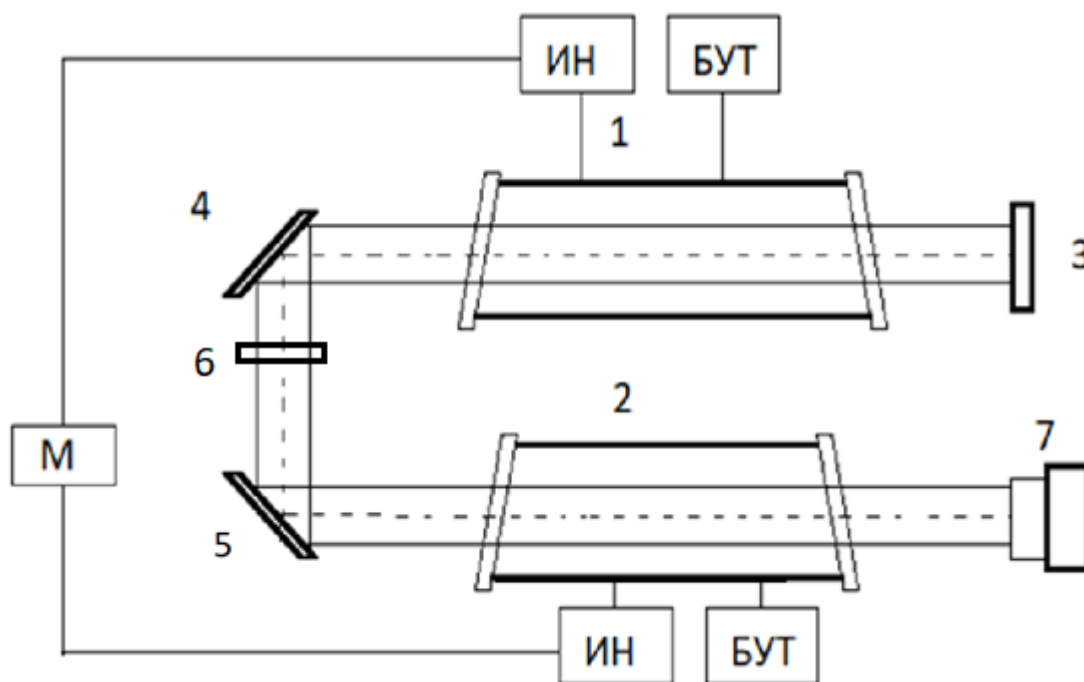


Рис. 2.1. Лазерный макет «Генератор – усилитель мощности»: 1 – задающий генератор; 2 – усилитель мощности; 3, 4, 5 – «глухие» зеркала; 6 – полосовой фильтр; 7 – измеритель мощности; М – модулятор; ИН – источник накачки; БУТ – блок управления температурой.

Поиск новых способов создания активной среды в исследовании лазеров на парах меди является перспективной задачей. В работе используется схема, идея которой состоит в независимой работе двух блоков: нагревающего, и возбуждающего. В обычном лазере зажигается сильноточный разряд и энергия, используемая для возбуждения, используется для нагрева среды до высоких температур (1400С), в результате образуется атомарная медь и она возбуждается. Использование быстрых источников возбуждения для нагрева является нерациональным способом, так как требуется большой энергозатрат. Нами было принято решение проводить нагрев, при котором пары меди в трубке создаются с помощью индуктора, а не с помощью высоковольтного импульса разряда – это является основным отличием.

2.1. Исследование схемы для активного элемента с внутренними электродами.

Для исследования возможности индукционного нагрева в лазерах на парах металлов были изготовлены два активных элемента: для изучения традиционной накачки (внутренние электроды) и емкостной накачки (внешние электроды).

На рисунке 2.2 представлена рабочая схема с внутренними электродами. Принцип работы заключается в следующем: через индуктор подается энергия, которая в свою очередь нагревает графит, графит нагревает керамическую трубку, а она нагревает медь до атомарного состояния, далее с помощью разряда, слаботочного относительно типовых условий, возбуждаем медь и получаем генерацию.

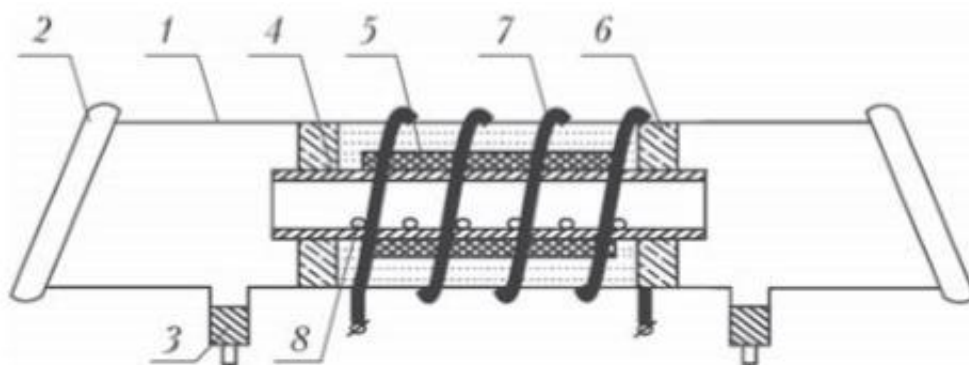
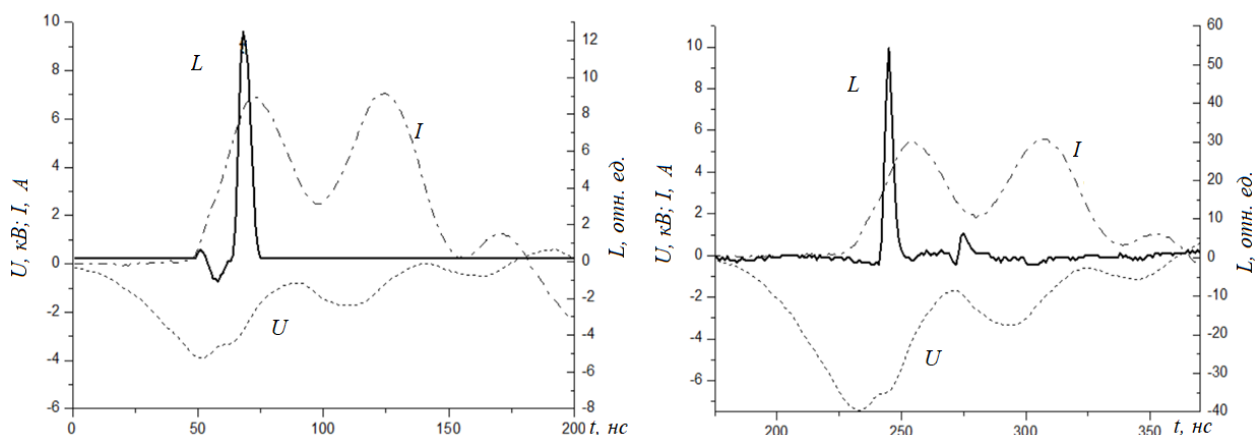


Рис. 2.2. Схема газоразрядной трубки с внутренними электродами: 1 – кварцевая трубка; 2 – кварцевые окна; 3 – электроды; 4 – керамическая трубка; 5 – графит; 6 – теплоизолятор; 7 – индуктор; 8 – медь.

Использование предлагаемой конструкции может решить такую проблему, как разделение функции испарения металла и возбуждения атомов металла. Это позволило подробно исследовать параметры, которые ограничивают частотно – энергетические характеристики лазеров на парах металлов.

Для оценки возможности использования данной конструкции была проведена серия экспериментов по получению генерации. Для возбуждения активных элементов использовалась схема с прямым разрядом накопительного конденсатора на ГРТ через согласующий импульсный трансформатор с коэффициентом трансформации равным двум. Импульсы напряжения и тока регистрировались высоковольтным пробником Tektronics P6015A и датчиком тока Pearson Current Monitors 8450. Для регистрации импульсов излучения использовались коаксиальные фотоэлементы ФЭК – 14К, импульсы фиксировались с помощью цифрового осциллографа LeCroy (WJ324 А). Мощность лазерного излучения определялась измерителем мощности Ophir 30C-SH.

Рисунок 2.3 демонстрирует результаты исследования, из которых видно, что ток не превышает единицы ампер, в отличие от типовых значений тока (более 100А), это свидетельствует о использовании слаботочного режима разряда, генерация возникает при максимуме тока и практически при максимуме напряжения, так же на рисунке 2.3(б) можно наблюдать два импульса генерации в рамках одного импульса возбуждения при частоте 6 кГц.



а)

б)

Рис. 2.3. Осциллограммы импульсов напряжения U , тока I , генерации L для активного элемента с внутренними электродами при частотах: а) $f = 3,3$ кГц; б) $f = 6$ кГц

2.2. Исследование схемы для активного элемента с внешними электродами

Присутствие внутренних электродов считается одним из факторов, который ограничивающих период службы активных элементов лазера, в особенности если газовая среда содержит активные примеси (HBr, бромоводород, HCl хлороводород). Также при работе с разрядами с емкостной связью, вводимая в разряд энергия ограничена величиной барьерной емкости, и этой энергии может оказаться недостаточно для поддержания необходимого температурного режима лазера. Поэтому, разработать и исследовать лазер на парах металлов, в котором бы отсутствовал прямой контакт газовой средой с материалами электродов, является актуальной задачей. Разработана и исследована конструкция CuBr-лазера, электроды которой располагались на внешней стенке трубки (рис 2.4). При таком расположении электродов, электрическая связь плазмы внутри ГРТ со схемой накачки носит емкостный характер.

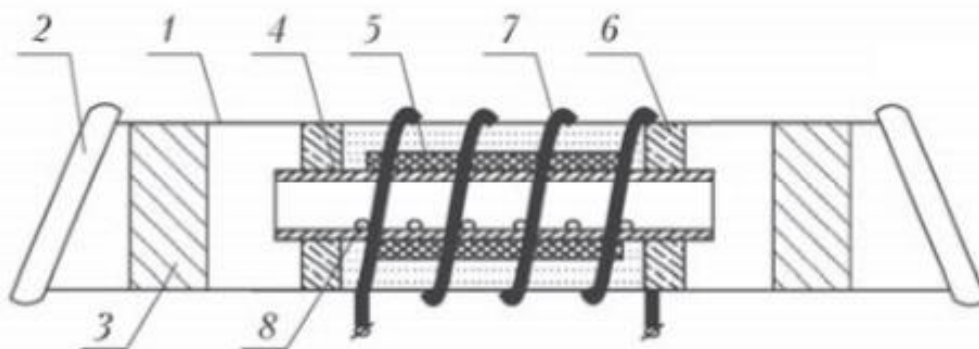


Рис. 2.4. Схема газоразрядной трубки с внешними электродами: 1 – кварцевая трубка; 2 – кварцевые окна; 3 – танталовые электроды; 4 – керамическая трубка; 5 – графит; 6 – теплоизолятор; 7 – индуктор; 8 – медь.

В эксперименте использовалась керамическая ГРТ с длиной рабочего канала 6 см и внутренним диаметром 4 мм. Танталовые (фольга) электроды были размещены на внешней стенке трубки. Расстояние между ними составляло 20 см. Порошок бромида меди помещался в керамическую трубку. Внутри трубки разрядный канал

имел отверстия для выхода паров рабочего вещества. ГРТ заполнялась буферным газом неоном, давление составляло 50 мм рт. ст. Активная зона ГРТ помещалась во внешний нагреватель. Данная конструкция поддерживала необходимую температуру внешней стенки ГРТ (750...770 К) независимо от мощности, которую вводили от высоковольтного источника питания.

На рисунке 2.5 представлены осциллограммы для ГРТ с внешними электродами. Импульс генерации по времени совпадает с максимумом тока, но напряжение при этом практически спадает до 0. Скорее всего, это связано с влиянием паразитных емкостей, одна из обкладок которых – графитовый нагреватель.

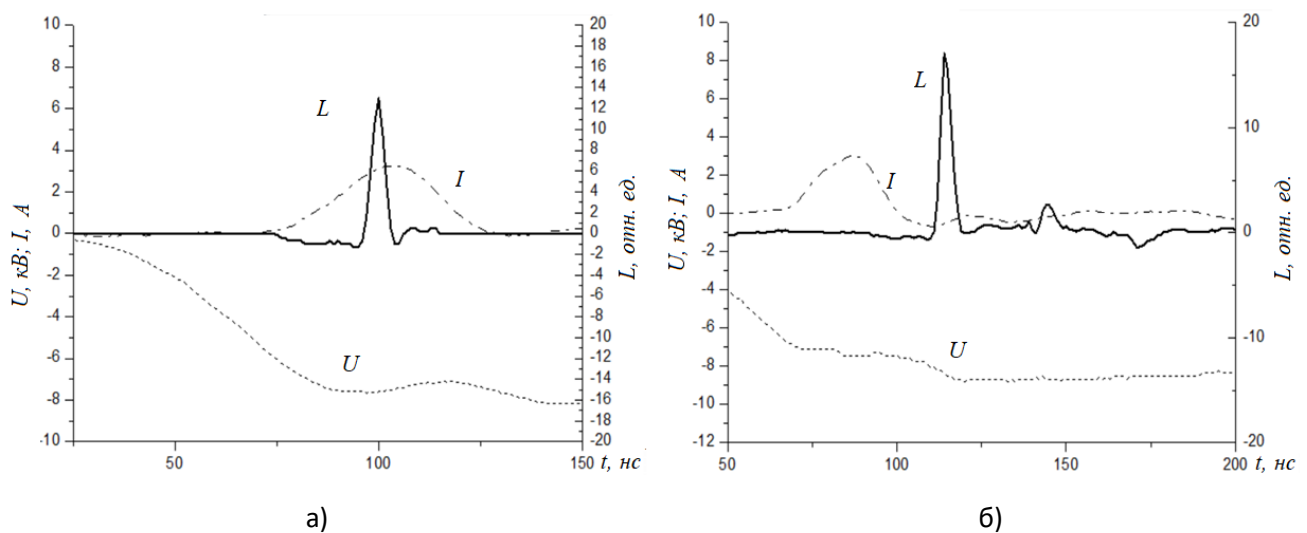


Рис. 2.5. Осциллограммы импульсов напряжения U , тока I , генерации L для активного элемента с внешними электродами при частотах: а) $f = 3,2$ кГц; б) $f = 4,2$ кГц

Средняя мощность генерации не превышала 20 мВт. По рисунку 2.5(б) видно, что увеличение частоты следования импульсов привело к увеличению длительности фронта напряжения на ГРТ. Также, при частоте 4,2 кГц импульс генерации в рамках импульса накачки состоит из двух импульсов, частота следования которых также составляла 20 МГц.

2.3. Исследование влияния временной задержки между импульсами задающего генератора и усилителя мощности на эффективность работы «МОРА» системы

Для исследования влияния временной задержки в системе «генератор – усилитель мощности» на мощность выходного сигнала, были использованы активные

среды на парах бромида меди, формирующие излучение на двух длинах волн: 510.6 нм и 578.2 нм

Блоки управления температурой (БУТ) обеспечивали требуемую температура внешних стенок газоразрядных трубок ГРТ и внутренней среды. Для временного согласования работы генератора и усилителя мощности использовался модулятор (М) с блоком синхронизации, обеспечивающей возможность плавного изменения задержек запуска коммутационных приборов относительно друг друга. Эта задержка также может быть названа временным сдвигом, и она изменяется посредством органов управления модулятора в диапазоне от 0 нс до 40 нс. Это позволяет согласовать режимы работы задающего генератора и усилителя мощности таким образом, чтобы выходная мощность достигала максимального значения.

Возбуждение активной среды представляло собой прямой разряд накопительного конденсатора на газоразрядные трубки (ГРТ) с помощью высоковольтного коммутатора. В качестве таких коммутаторов использовались тиратроны. Параметры накачки задающего генератора были следующими: накопительная емкость составляла 1100 пФ, анодное напряжение тиратрона достигало 9 кВ. Выходная мощность составляла около 2,3 Вт. В случае усилителя мощности накопительная емкость и анодное напряжение тиратрона составляло 1150 пФ и 8 кВ соответственно.

«Глухое» зеркало (3) было использовано для создания положительной обратной связи, чтобы увеличить выходную мощность излучения задающего генератора. «Глухие» зеркала (4, 6) и дихроичное зеркало (5) использовались для заведения лазерного пучка в активную среду усилителя и на коаксиальные фотоэлементы ФЭК-14К (7, 8), которые регистрировали световые импульсы. Полосовой фильтр (9) добавлялся в оптическую схему для выбора длины волны.

На рисунке 2.6 представлены полученные результаты. Видно, как выходная мощность системы «Генератор – усилитель мощности» зависит от временного сдвига. Символ «-» соответствует случаю, когда импульс излучения задающего генератора поступает в активную среду второго лазерного элемента после формирования

импульса сверхизлучения усилителя. Символ «+» напротив соответствует тому, что импульс излучения задающего генератора поступает в активный объем усилителя еще до формирования импульса сверхизлучения. Поданным рисунка 2.6 видно, что при временном сдвиге равном 0 (рис. 2.6(б)), получена максимальная мощность усиления сигнала (920мВт). Найден оптимальный временной сдвиг для получения максимального коэффициента усиления (рис 2.7).

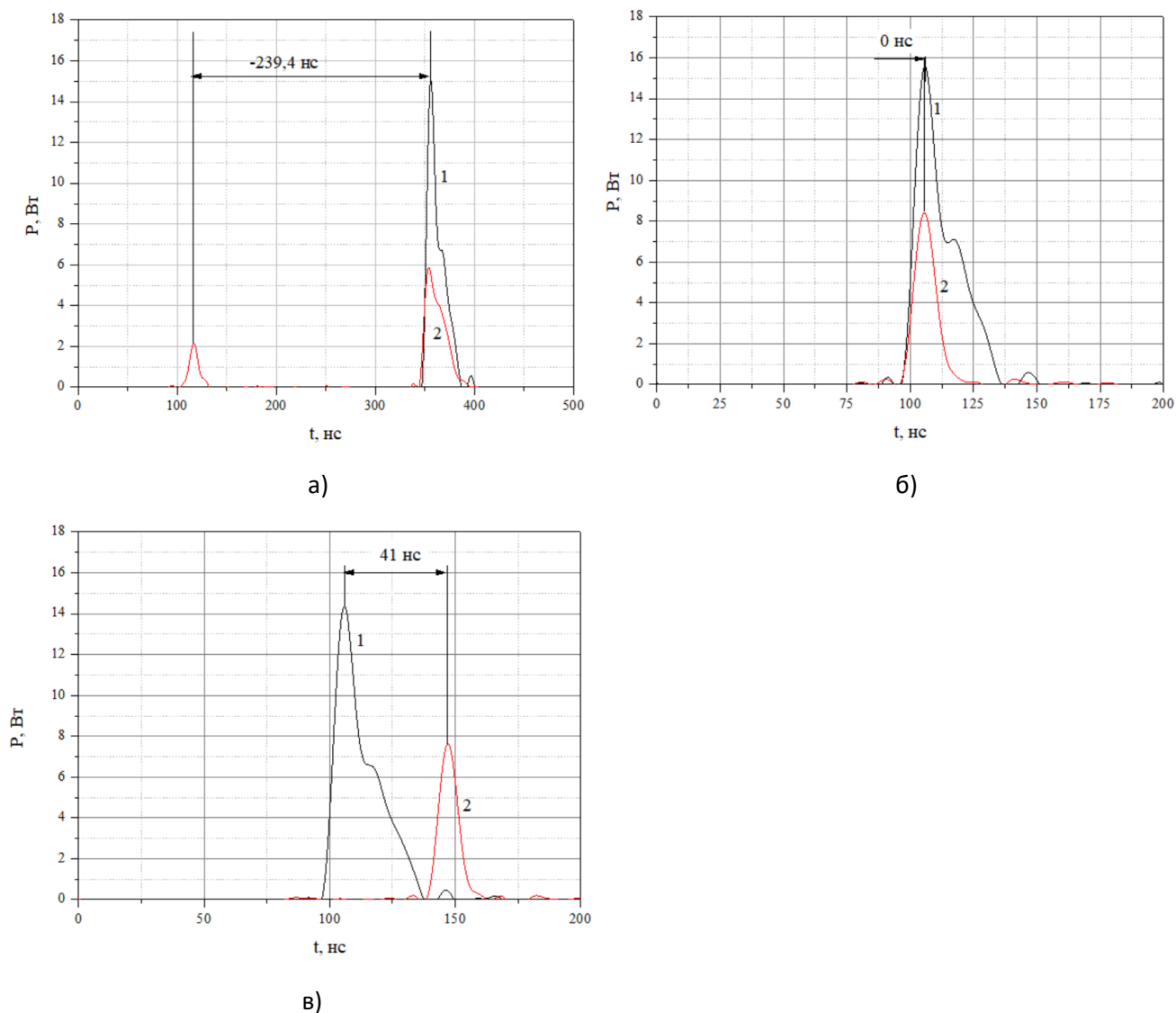


Рис. 2.6. Зависимость выходной мощности излучения лабораторного макета «Генератор – усилитель мощности» от временного сдвига: 1 – импульс излучения задающего генератора; 2 – импульс на выходе усилителя яркости. Знак «-» - излучения задающего генератора поступает в активную среду второго лазерного элемента после формирования импульса усилителя яркости. Знак «+» - импульс излучения задающего генератора опережает формирования импульса усилителя яркости.

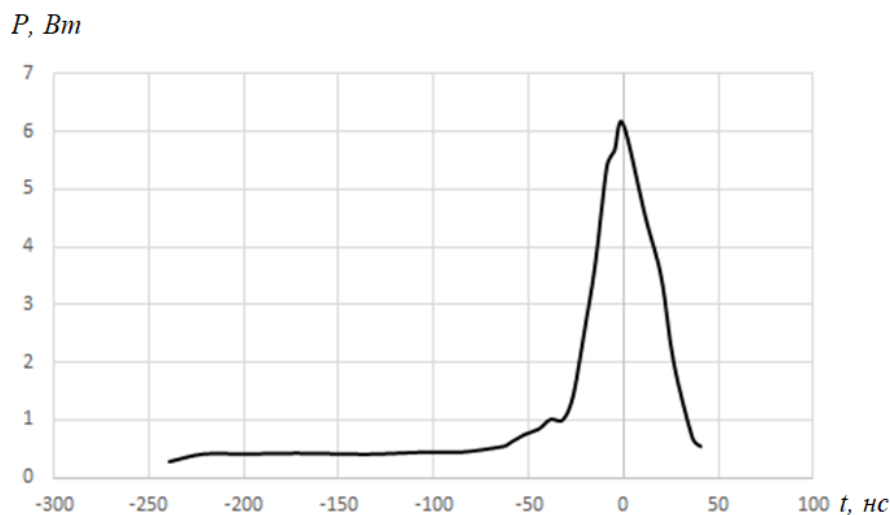


Рис. 2.7 Зависимость коэффициента усиления от временного сдвига между импульсом генерации и усилителя мощности.

Глава 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела выпускной квалификационной работы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками. Потенциальными потребителями являются университеты, исследовательские институты и корпоративные лаборатории, а также промышленные предприятия, задействованные в области автомобилестроения, бытовой техники и других отраслях промышленности.

3.1.2. Анализ конкурентных технических решений

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

Современный этап развития производства и лазерной техники характеризуется постоянным ростом числа разработок лазерных установок и приборов различного назначения, расширением их промышленного выпуска и внедрением во многие области науки, техники и производства.

Актуальность работы обусловлена растущей потребностью в эффективных и компактных источниках когерентного излучения, имеющих достаточно высокую импульсную мощность лазерного импульса и малые размеры.

Для оценки ресурсоэффективности необходимо выбрать основные критерии для оценки и сравнения CuV-лазера и конкурирующих разработок. Надежность метода обеспечивает безостановочную работу и является важным критерием при выборе метода. Безопасность производства позволяет осуществлять деятельность без риска для жизни рабочих и для производственного оборудования. Удобство в эксплуатации позволяет рабочим допускать меньше ошибок в процессе производства, а качество интеллектуального интерфейса позволит контролировать производство и своевременно оповещать о возникших проблемах. Долговечность позволит уменьшить расходы на метод. Энергоэффективность разработки позволит рационально использовать ограниченные энергетические ресурсы. Универсальность разработки позволит использовать систему «Генератор - усилитель» (в которую входят два CuV-лазера) для увеличения мощности излучения разных объектов. Контролируемость дает возможность управлять всем процессом, т.е. регулировать работу лазера. Одним из наиболее важных критериев является ремонтпригодность, т.к. многие детали приходят в непригодность после нескольких экспериментов и найти им замену среди отечественных производителей тяжело. Получение необходимой мощности излучения позволит иметь преимущества перед

конкурентами, а, следовательно, иметь лидирующее положение на рынке. Среди экономических критериев стоит отметить конкурентоспособность продукта, т.к. если продукт не конкурентоспособен, то на него не будет спроса и его производство будет экономически не эффективен. Цена за надлежащий по качеству товар имеет высокое значение в данном вопросе. Финансирование научной разработки показывает, насколько она обеспечивает заинтересованность финансирующих источников. Знание срока выхода на рынок позволит покупателям запланировать сроки наладки и реализации. Наличие сертификата разработки подкрепляет уверенность покупателя в качестве продукции.

Таким образом, основными критериями лазеров на парах металлов будут являться: надежность, безопасность, простота в эксплуатации, скорость напыления. Среди экономических критериев будут: конкурентоспособность продукта, цена, финансирование научной разработки, срок выхода на рынок и наличие сертификации разработки.

Данный анализ целесообразно проводить с помощью оценочной карты, представленной в таблице 4.1. Требуется привести не менее трех конкурентных товаров и разработок.

Таблица 3.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерии	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Удобство в эксплуатации	0,06	4	3	4	0,24	0,18	0,24
2.Простота изготовления	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
3.Ремонтопригодность	0,06	4	3	4	0,24	0,18	0,24
4.Безопасность	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
5.Долговечность	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
6.Надежность метода	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
7.Энергоэффективность	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
8.Универсальность	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
9.Контролируемость	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
10. Мощность излучения	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							

1. Конкурентоспособность продукта	0,05	4	3	2	0,2	0,15	0,1
2. Цена	0,15	4	3	4	0,6	0,45	0,6
3. Финансирование научной разработки	0,1	3	4	2	0,3	0,4	0,2
4. Срок выхода на рынок	0,03	2	5	4	0,06	0,15	0,12
5. Наличие сертификации разработки	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
Итого	1				3,992	3,66	3,8

Ф – CuVr лазер, К1 – Твердотельный лазер NdYAG, К2 – Волоконный лазер. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 4.1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Вес показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента, V_i – вес показателя (в долях единицы), B_i – балл i -го показателя.

Данные, сведенные в таблицу 3.1, позволяют заключить, что наиболее пригодным из приведенных продуктов является CuVr лазер. Конкурентные установки недостаточно удовлетворяют критериям работы.

3.1.3 SWOT-анализ

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

SWOT – анализ проекта позволяет оценить факторы и явления способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок. Для анализа проекта составлена таблица

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 3.2 – SWOT анализ проекта

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1.Работа с лабораторными установками. С2.Экологичность технологии. С3.Получение максимальной мощности генерации на выходе С4.Высокая ресурсоэффективность С5Простота эксплуатации	В1.Высокая стоимость существующих аналогов В2. Появление дополнительного спроса на продукт В3. Модернизация за счет применения новых технологий
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1.Низкая универсальность применения; Сл2.Высокая стоимость составляющих элементов; Сл3.Функциональные ограничения	У1.Отсутствие спроса на новые технологии; У2.Развитая конкуренция технологий производства У3 Несвоевременное финансирование

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это несоответствие или соответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения дальнейших стратегических изменений.

Таблица 3.3 - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
		С1	С2	С3	С4	С5

Возможности проекта	B1	+	-	+	+	+
	B2	-	+	0	+	+
	B3	+	+	+	+	+

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

В рамках **третьего этапа** составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая представлена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Итоговая таблица SWOT анализ проекта.

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1.Работа лабораторными установками. С2.Экологичность технологии. С3.Получение максимальной мощности генерации на выходе С4.Высокая ресурсоэффективность	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Низкая универсальность применения; Сл2.Высокая стоимость составляющих элементов; Сл3.Функциональные ограничения С4 Сложность эксплуатации
Возможности: В1.Стоимость ниже, чем у существующих аналогов	Наличие бюджетного финансирования поможет развитию технологии, а достижение предела	Поиск и разработка более дешевых элементов лазерной системы. Упрощение эксплуатации установки

<p>В2. Появление дополнительного спроса на продукт</p> <p>В3. Модернизация за счет применения новых технологий</p>	<p>возможности конкурентных разработок не даст им повысить характеристики их продукта. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p>	<p>при помощи замены высокогабаритных составляющих на менее габаритные.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1.Отсутствие спроса на новые технологии;</p> <p>У2.Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3 Несвоевременное финансирование</p>	<p>Экономичность и ресурсоэффективность позволят привлечь внимание производителей. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. Развитие технологии позволит привлечь государственные средства.</p>	<p>Инфраструктура ТПУ может привлечь внимание инвесторов для обеспечения финансирования. Успешные исследования помогут маркетинговой компании привлечь покупателей.</p>

Исходя из анализа матрицы, можно сделать вывод, что необходимо задействовать информационную структуру ТПУ для привлечения ресурсов и покупателей к данной разработке, т.к. она привлекательна с точки зрения экономичности производства, так же необходимо делать упор на отличительные особенности разработки от существующих аналогов.

3.2 Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для оценки затрат на разработку программного продукта необходимо определить перечень основных видов и этапов работ, которые должны быть выполнены (таблица 3.5).

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.

Таблица 3.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
Выбор направления исследований	3	Выбор направления исследований и способа решения задач	Руководитель
Выбор направления исследований	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Построение плана экспериментов	Руководитель, Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Изучение способов накачки CuBr-лазера	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	7	Ознакомление и исследование газоразрядных(ГРТ) трубок.	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	8	Ознакомление и исследование ГРТ с внутренними электродами.	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	9	Ознакомление и исследование ГРТ с внешними электродами.	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	10	Проведение эксперимента с использованием индукционного нагрева для	Руководитель, Инженер

		ГРТ с внутренними и внешними электродами	
Теоретические и экспериментальные исследования	11	Проведение эксперимента с использованием системы Генератор – усилитель мощности.	Руководитель, Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Анализ полученных результатов	Инженер
Обобщение и оценка результатов	13	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель
Обобщение и оценка результатов	14	Подготовка ВКР	Инженер

3.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. После составления плана работ необходимо оценить их трудоемкость. В таблице 3.6 представлены временные показатели проведения научного исследования.

Таблица 3.6 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнитель	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}	Длительность работ в календарных днях, T_{ki}
	t_{mi} , чел.-дн.	t_{ma} , чел.-дн.	$t_{ож}$, чел.-дн.			
Составление и утверждение технического задания	1	1	1	Руководитель	1	2
Подбор и изучение материалов по теме	10	15	12	Инженер	12	18

Выбор направления исследований и способа решения задач	1	1	1	Руководитель	1	2
Календарное планирование работ по теме	1	1	1	Руководитель	1	2
Построение плана Экспериментов	1	2	2,8	Руководитель, Инженер	1,2	2
Изучение способов накачки CuBr-лазера	9	16	11,8	Инженер	11,8	18
Ознакомление и исследование газоразрядных(ГРТ) трубок.	4	5	4,4	Инженер	4,4	7
Ознакомление и исследование ГРТ с внутренними электродами.	12	16	13,6	Инженер	13,6	21
Ознакомление и исследование ГРТ с внешними электродами.	5	8	6,2	Инженер	6,2	10
Проведение эксперимента с использованием индукционного нагрева для ГРТ с внутренними и внешними электродами	8	16	11,2	Руководитель, Инженер	11,2	17
Проведение эксперимента с использованием системы Генератор – усилитель мощности.	3	6	4,2	Руководитель, Инженер	4,2	7
Анализ полученных результатов	2	3	2,4	Инженер	2,4	4
Определение целесообразности проведения ВКР	1	1	1	Руководитель	1	2

Подготовка ВКР	20	40	28	Инженер	14	21
----------------	----	----	----	---------	----	----

Коэффициент календарности находится по формуле:

$$K_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{269} = 1,4777,$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{ч_i},$$

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

Продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях T_{ki} рассчитывалось по формуле $T_{ki} = T_{pi} * K_{\text{кал}}$.

Рассчитав временные показатели проведения научного исследования, составим календарный план-график проведения НИОКР (таблица 4.7).

Таблица 3.7 – Календарный график проведения НИР

Этапы	Вид работы	Исполнители	T_k	январь	февраль	март	апрель	май
1	Разработка технического задания	Тригуб М.В.	1					
2	Выбор направления исследований	Тюменева Е.О.	18					
3	Выбор направления исследований	Тригуб М.В.	1					
4	Выбор направления исследований	Тригуб М.В.	1					
5	Теоретические и экспериментальные исследования Теоретические и	Тригуб М.В. Тюменева Е.О.	12					

3.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

1. материальные затраты НТИ;
2. затраты на специальное оборудование для научных работ
3. основная заработная плата исполнителей темы;
4. дополнительная заработная плата исполнителей темы;
5. отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
6. накладные расходы.

3.3.1. Затраты на расходные материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования.

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 3.8 – Расчет стоимости расходных материалов

Наименование	Цена за ед.,руб.	Количество	Сумма, руб.
CuBr-лазер	30000	2	60000
Оптическая система	8700	1	8700
Блок синхронизации	30000	1	30000
Керамика	4000	1	4000
Графит	5000	1	5000
Металлическая фольга	1000	1	1000
Итого			108700
С учетом транспортно-заготовительных расходов ($k_T=15\%$)			125005

3.3.2. Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая

ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда). Расчет основной заработной платы сводится в таблице 3.9.

Размер оклада руководителя – доцента отделения материаловедения составил 33664 руб.

Размер оклада инженера составил 9489 руб.

Таблица 3.9 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Исполнитель по категориям	Оклад, руб/мес	Трудоемкость, чел.-дн.	Зарплата, приходящаяся на один чел.-раб.дн., руб.(с РК)	Всего заработная плата за время участия в проекте, руб.
1	Руководитель	33664	5	$33664 * 1,3 / 26 = 1683,2$	8416
2	Студент	9489	125	$9489 * 1,3 / 22 = 560,7$	70087,5
Итого					78503,5

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} T_{раб} \quad (7)$$

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

3.3.3. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается

исходя из 12-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} = 0,12 * 8416 = 1009,9 \text{руб}, \quad (10)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{\text{доп}} = 0,12$); $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} = 0,12 * 70087,5 = 8410,5 \text{руб}$$

Расходы на оплату труда составили:

для руководителя:

$$Z_{\text{полн}} = Z_{\text{доп}} + Z_{\text{осн}} = 1009,9 + 8416 = 9425,9 \text{руб.};$$

для инженера:

$$Z_{\text{полн}} = Z_{\text{доп}} + Z_{\text{осн}} = 8410,5 + 70087,5 = 78498 \text{руб.}$$

3.3.4. Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления на социальные нужды (27,1% от статьи заработной платы) составили:

для руководителя:

$$Z_{\text{полн}} * 0,271 = 9425,9 * 0,271 = 2554,4 \text{руб.};$$

для инженера:

$$Z_{\text{полн}} * 0,271 = 78498 * 0,271 = 21272,9 \text{руб}$$

3.3.5. Накладные расходы

Накладные расходы – это затраты на управление и хозяйственное обслуживание и расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др, что порядка 16% от рассчитанных выше расходов. Суммарно накладные расходы составляют:

$$(9425,9 + 78498 + 2554,4 + 21272,9) * 0,16 = 17880 \text{руб.}$$

3.3.6. Формирование бюджета затрат научно-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 3.10.

Таблица 3.10 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1. Материальные затраты исследования	125005	196076	194536,08
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	78503,5	56088	87940,98
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9420,4	5687,9	9352,92
4. Отчисления во внебюджетные фонды	23827,3	11900,9	21112,01
5. Накладные расходы	17880	66455,5	31324,1
Бюджет затрат исследования	278463,5	336208	344266,09

В ходе расчетов установлено, что затраты на НИР составили 278463,5 руб., что оказалось дешевле альтернативных аналогов

3.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за баз

расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{278463,5}{344266,09} = 0,87$$

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{336208}{344266,09} = 0,98$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{344266,09}{344266,09} = 1,$$

где I_{Φ}^p - интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналог).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки.

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a; \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$$

где I_m - интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i - весовой коэффициент i -го параметра; b_i^a, b_i^p - бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

В качестве основных критериев выбираются наиболее значимые критерии, рассмотренные в таблице 4.1. Некоторые были объединены, например, цена производимой продукции и конкурентоспособность, в совокупности показывают экономичность продукции.

Экологичность производства позволит привлечь больше инвесторов и не завышать цену на утилизацию вредных отходов.

Таблица 3.11 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Объект исследования	Весовой коэф-т	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Критерии	параметра			
1.Экономичность	0,2	5	4	3
2.Экологичность	0,2	5	5	3
3.Безопасность	0,3	4	4	4
4.Простота эксплуатации	0,3	5	4	2
Итого	1	19	17	12

$$I_m^p = 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,3 = 4,7$$

$$I_1^{a1} = 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,3 = 4,2$$

$$I_1^{a2} = 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,3 = 3$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{фин}^p$) и аналога ($I_{фин}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{фин}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,7}{0,87} = 5,4$$

$$I_{фин}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\phi}^{a1}} = \frac{4,2}{0,98} = 4,3$$

$$I_{фин}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\phi}^{a2}} = \frac{3}{1} = 3$$

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

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{фин}^p}{I_{финai}^a}$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{\text{фин}}^{\text{р}}$ – интегральный показатель разработки; $I_{\text{финаi}}^{\text{ai}}$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

$$\mathcal{E}_{\text{ср.р}} = \frac{I_{\text{фин}}^{\text{р}}}{I_{\text{финаi}}^{\text{ai}}} = \frac{5,4}{5,4} = 1;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср.а1}} = \frac{5,4}{4,3} = 1,25;$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср.а2}} = \frac{5,4}{3} = 1,8$$

Таблица 3.12 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,87	0,98	1
2	Интегральный показатель Ресурсоэффективности разработки	4,7	4,2	3
3	Интегральный показатель эффективности	5,4	4,3	3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,25	1,8

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Как видно из таблицы 4.12 исследование текущая работа с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности наиболее удачна, по сравнению с альтернативными вариантами.

Глава 4. Социальная ответственность.

Введение

Данный раздел рассматривает основные инструкции, которые направлены на предотвращение несчастных случаев и минимизацию рисков для здоровья при работе с объектом разработки. Регламентирует санитарные нормы, технику безопасности и организацию рабочего места.

Целью выпускной квалификационной работы является получение мощного излучения в системе «Генератор - усилитель». В данную систему входят две газоразрядные трубки (ГРТ) и CuVr лазер, следовательно, главной темой рассмотрения будет являться электробезопасность.

Работы по разработке системы синхронизации и её экспериментальные исследования производились в лаборатории Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН). Оборудование лаборатории позволяет проводить работы различной сложности, выполнять монтаж электронных схем и тестировать работоспособность на подготовленных стендах. Компьютерное обеспечение лаборатории позволяет производить программирование микроконтроллеров.

Как регламентирует СанПиН 2.2.4.548-96 по энергозатратам организма, работа на производстве в лаборатории подобного типа относится к категории Ib и характеризуется легкой физической деятельностью, не требующей поднятия и переноса тяжестей, производимая в основном сидя, стоя или связана с ходьбой.

Для обеспечения безопасности на производстве для рабочего персонала лаборатории, а также для минимизации рисков для общества и окружающей среды проведём анализ и разработаем комплекс мер по минимизации негативных факторов.

4.1 Производственная безопасность

При разработке и эксплуатации данного объекта исследований возможно возникновение следующих вредных факторов, согласно ГОСТ-12.0.003-74[12], отображенные в таблице 4.1.

Отклонение показателей микроклимата

Недостаточный уровень освещения на рабочем месте.

Повышенный уровень электромагнитных излучений.

Эти факторы влияют непосредственно на санитарно-гигиенические условия труда и производительность работающих людей.

Таблица 1. Опасные и вредные факторы при эксплуатации «Системы синхронизации высокоскоростного лазерного монитора»

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа в учебной лаборатории с лабораторным макетом	Отклонение показателей микроклимата. Недостаточная освещенность рабочей зоны. Повышенный уровень шума на рабочем месте. Превышение уровня ЭМП Вредные вещества в воздухе рабочей зоны	Протекание электрического тока. Пожар.	Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4.548-96 [20]; освещение нормируется СП 52.13330.2011 [21]; ГОСТ 12.1.003-83 [13] устанавливает оптимальный уровень шума.

4.1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения

Отклонение показателей микроклимата

Существует такое понятие, как микроклимат. Под этим термином понимают совокупность всех метеорологических условий внутренней среды помещения, в котором осуществляется рабочая деятельность. Условия внутренней среды

определяются рядом параметров, воздействующих на организм человека, к которым относятся:

- температура воздуха [$^{\circ}\text{C}$];
- относительная влажность [%];
- скорость движения воздуха [м/с];
- мощность теплового излучения [$\text{Дж/с}\cdot\text{м}^2$];

Данные факторы могут привести к отклонению температуры и влажности от приемлемых норм, а, следовательно, могут повлечь за собой различные заболевания и снижение работоспособности рабочего персонала.

Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены. Таблицы 4.2 и 4.3 содержат информацию об оптимальных и допустимых показателях микроклимата производственных помещений согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [20] для категории работ Iб по уровню энергозатрат.

Таблица 2. Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Период года	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Iб (140-174)	Холодный	21-23	40-60	0,1
	Теплый	22-24	40-60	0,1

Допустимые микроклиматические условия в свою очередь могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, а также ухудшению самочувствия и понижению работоспособности. Как правило, такие условия устанавливаются, если в силу технических и экономических причин не удастся обеспечить оптимальные микроклиматические условия.

Таблица 4.3. Допустимые показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Период года	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
--	-------------	---------------------------------	----------------------------	--------------------------------

		Дип. ниже о.в.	Дип. выше о.в.		Дип. ниже о.в.	Дип. выше о.в.
Iб (140-174)	Холодный	19 – 20,9	23,1 – 24	15 – 75	0,1	0,2
	Теплый	20 – 21,9	24,1 – 28	15 – 75	0,1	0,3

Отопление Института оптики атмосферы осуществляется посредством центрального водяного отопления, в частности лаборатория, в которой производилась работа, содержит радиаторы отопления. Так как электромонтаж и работа лазера сопряжены с выделением горючих и поддерживающих горение паров и газов, в лаборатории предусмотрена система вентиляции.

Повышенный уровень электромагнитных излучений

Практические все электронные приборы создают электромагнитные поля, способные оказывать неблагоприятное воздействие на организм человека. Внутренние органы человека можно условно подразделить на электролиты (жидкие составляющие ткани) и диэлектрики (сухожилия, хрящи и т.д.) Воздействие на организм человека переменным электромагнитным полем вызывает нагрев его биологических тканей, как за счет переменной составляющей поляризации диэлектрика, так и за счет появления ионных токов проводимости. Такой тепловой эффект обусловлен поглощением тканями энергии электромагнитного поля. Благодаря внутреннему механизму терморегуляции организм человека отводит от себя избыточное тепло, однако при достижении так называемого теплового порога происходит нарушение данного механизма терморегуляции. В этом случае органы с большим содержанием жидкой составляющей ткани наиболее подвержены воздействию данного эффекта. К таким органам относят: органы зрения, почки, мозг, желудок, желчный пузырь. Таким образом электромагнитное поле наиболее опасно для перечисленных органов.

В производственном помещении генерацию вредного электромагнитного излучения осуществляют различные контрольно-измерительные приборы в ходе их эксплуатации. В соответствии с СанПиН 2.2.4.1191-03 [19] должны быть соблюдены допустимые уровни электростатического и магнитного полей, превышение которых может привести к развитию профессиональных заболеваний.

При напряженностях электростатического поля, превышающих 60 кВ/м, работа без применения средств защиты не допускается. Если же напряженность электростатического поля составляет менее 20 кВ/м, то в этом случае время пребывания в электростатических полях не регламентируется.

Оценка и нормирование постоянного магнитного поля осуществляется в зависимости от времени воздействия поля на работника для условий общего (на все тело) и локального (кисти рук, предплечье) воздействия. Предельно-допустимые уровни постоянного магнитного поля представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4. 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

Согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 предельно допустимые уровни напряженности периодических магнитных полей устанавливаются для условий общего (на все тело) и локального (на конечности) воздействия. Данная информация представлена в таблице 4.5.

Таблица 3 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 минимизации воздействия электромагнитного излучения на организм человека на практике применяется экранирование возможных источников излучений.

Помимо этого, источником электромагнитного излучения в лаборатории Института оптики атмосферы является лазер на парах бромида меди. Максимальная частота генерации излучения такого лазера составляет 50 кГц. Таблица 5.6 содержит

информацию о максимальных предельно допустимых уровнях напряженности и плотности потока энергии электромагнитного поля диапазона частот от 30 кГц до 300 ГГц.

Таблица 4.6. Максимальные ПДУ напряженности и плотности потока энергии ЭМП диапазона частот ≥ 30 кГц - 300 ГГц.

Параметр	Максимально допустимые уровни в диапазонах частот (МГц)				
	0,03 - 3,0	3,0 - 30,0	30,0 - 50,0	50,0 - 300,0	300,0 - 300000,0
Е, В/м	500	300	80	80	-
Н, А/м	50	-	3,0	-	-
ППЭ, мкВт/см ²	-	-	-	-	1000 5000 <*>

В таблице 4.6 использованы следующие обозначения:

- Е - напряженность электрического поля (В/м);
- Н - напряженность магнитного поля (А/м);
- ППЭ - плотность потока энергии (Вт/м²);
- <*> - условия локального облучения кистей рук.

Лазерное излучение, которое по своей физической природе является электромагнитным излучением, также представляет непосредственную опасность для органов зрения. Лазер работает на парах бромида меди и генерирует излучение с длиной волны 511 нм и 578 нм, что соответствует видимому излучению. Необходимо избегать зрительного контакта с прямым и зеркально отраженным лазерным лучом. Согласно ГОСТ 124.003-74 [12] при работе с лазерными установками к средствам индивидуальной защиты относят специальные очки с темной окраской стекол и боковой защитой.

Вредные вещества в воздухе рабочей зоны

Пайка осуществляется с использованием оловянно-свинцовых припоев, что сопровождается выделением вредных веществ. Выделяющиеся вещества способны оказывать на организм человека общетоксическое воздействие, что впоследствии может привести к развитию профессионального заболевания.

Пары канифоли вызывает аллергенное и раздражительное действие.

Оксид углерода раздражает дыхательную систему, вытесняет кислород из оксигемоглобина, оказывает токсическое воздействие на клетки, нарушает тканевое дыхание.

Этиловый спирт оказывает раздражительное действие на кожу и дыхательную систему, является наркотическим веществом.

Согласно ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ [15] помещения, работа в которых сопровождается выделением вредных веществ, должны быть оборудованы санитарно-техническими устройствами, которые предназначены для минимизации воздействия вредных веществ на организм человека. В данном случае каждое место, предназначенное для проведения электромонтажных работ, оборудовано местной вентиляцией.

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [14] и для всех вышеперечисленных вредных веществ установлены предельно-допустимые концентрации и классы их опасности. Данная информация сведена в таблицу 5.7.

Таблица 4. Предельно допустимые концентрации веществ, выделяющихся при пайке, в воздухе рабочей зоны и их классы опасности.

Номер в таблицы ГОСТ 12.1.005-88	Вещество, выделяющееся в атмосферный воздух	Предельно допустимая концентрация (ПДК)	Класс опасности
905	Свинец и его неорганические соединения	0,01/0,005 мг/м ³	I (чрезвычайно опасные)
1103	Оксид углерода	20 мг/м ³	IV (чрезвычайно опасные)
201	Висмут и его неорганические соединения	0,5 мг/м ³	II (высокоопасные)
957	Спирт этиловый	1000 мг/м ³	IV (малоопасные)
ГОСТ 19113-84[16]	Аэрозоль сосновой канифоли	6 мг/м ³	III (умеренно опасные)

Повышенный уровень шума на рабочем месте

Понятие шума носит субъективный характер. Шумом могут быть названы любые нежелательные в текущий момент звуки. К производственному шуму относят все звуки,

источниками которых являются используемые на производстве машины, приборы и механизмы.

С точки зрения физиологии шум оценивают, как фактор, несущий вред здоровью человека. Шум может привести к раздражительности работника, ослаблению его внимания, ухудшению мыслительной деятельности, а значит к снижению работоспособности. Более того, сильный продолжительный оказывает негативное влияние на сердечно-сосудистую и нервную системы, а также может привести к понижению слуха.

ГОСТ 12.1.003-83 [13] устанавливает оптимальный уровень шума в 50 ДБА. При работе в данной учебной лаборатории уровни шумов не превышают уровень 50 ДБА. Кроме того, институт находится на достаточно далеком расстоянии автомобильных и железных дорог, аэропортов и других источников постороннего шума.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Обеспечение нормальной освещенности является одним из наиболее важных условий нормальной работы. При плохом освещении работник испытывает утомление органов зрения и организма в целом. Также помещение должно исключать неправильные меры освещенности, такие как слепящие лампы, плохо освещенные опасные зоны и т.д.

Указанные виды освещения устанавливаются согласно СП 52.13330.2011 [21]. В данной лаборатории проводятся работы средней точности с наименьшим размером объекта различения свыше 0,5 мм и до 1 мм. Нижеприведенная таблица 4.8 содержит требования к освещению промышленных помещений предприятий для работы средней точности в соответствии с СП 52.13330.2011.

В данной 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 $K_{п}$ не превышает 20%.

Таблица 4.8 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
	P , не более			40
	K_z , %, не более			20
Естественное освещение	КЕО e_n , %	при верхнем или комбинированном освещении		4,0
		при боковом освещении		1,5
Совмещенное освещение		при верхнем или комбинированном освещении		2,4
		при боковом освещении		0,9

4.1.2. Анализ выявления опасных факторов при разборке и эксплуатации проектируемого решения

Электробезопасность

Согласно требованиям электробезопасности, ГОСТ Р 12.1.019-2009 [17] электрооборудование и приборы, находящиеся в лаборатории, расположены на специально отведенных местах и заземлены. Сопротивление заземления при этом не должно превышать 4 Ом.

Как было указано ранее, в лаборатории установлен лазер на парах бромида меди. В качестве энергии накачки используется электрический ток. Напряжение в электрической схеме, предназначенной для накачки лазерного вещества, достигает порядка нескольких кВ. Таким образом, используемая лазерная установка относится к установкам с напряжением выше 1000 В. В этом случае к основным средствам защиты относят:

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

К дополнительным средствам защиты в свою очередь относят:

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

Согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 схема накачки эксплуатируемого лазера относится к классу I электротехнических изделий по способу защиты человека от поражения электрическим током. Изделия данного класса имеют рабочую изоляцию и элемент для заземления.

Все сотрудники института обязательно проходят первичный инструктаж по электробезопасности.

Пожаровзрывобезопасность

Согласно ТР о требованиях пожарной безопасности N123 – ФЗ данная лаборатория относится к помещениям по степени пожароопасности класса В. Работы на производстве с данной категорией пожароопасности предусматривают использование горючих и трудногорючих веществ и материалов, которые могут находиться в жидком или твердом состоянии.

К возможным причинам пожара относят:

- токи короткого замыкания;
- неисправность электросетей;
- незнание или небрежность обслуживающего персонала;
- курение в неположенных местах.

Таким образом, необходимо выполнять следующие нормы пожарной безопасности:

- для предохранения сети от перегрузок запрещается включать дополнительные не предусмотренные потребители;
- работы в лаборатории проводить только при исправном состоянии оборудования, электропроводки;

- иметь средства для тушения пожара (огнетушитель);
- иметь в наличии план эвакуации людей, который должен висеть на видном месте;
- оборудование размещать так, чтобы был достаточный проход к выходу.

Помимо этого, в целях пожарной безопасности работающему персоналу запрещается:

- пользоваться открытым огнем, курить;
- производить зарядку аккумуляторных батарей;
- хранить легко воспламеняющиеся вещества, за исключением спирта для технологических целей (не более 1-го литр).

Здание Института оптики атмосферы соответствует требованиям пожарной безопасности. В здании установлена система охранно-пожарной сигнализации, имеются в наличии порошковые огнетушители, а также на каждом этаже установлен план эвакуации в нескольких экземплярах. Помимо этого, в здании имеются таблички с указанием направлений к эвакуационным выходам.

4.2 Экологическая безопасность

Согласно ГОСТ 17.2.1.01-76 эксплуатируемая лазерная установка не вырабатывает вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, а значит, ее работа не сопровождается вредным влиянием на окружающую среду.

Электронное оборудование, пришедшее в негодность и неподлежащее ремонту, списывается и утилизируется. Утилизация электронного оборудования сопровождается воздействием на литосферу.

Концентрация вредных веществ, которые выделяются при проведении электромонтажных работ, не превышает предельно допустимых концентраций, приведенных в ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ.

Отходы, которые образуются при проведении электромонтажных работ, выбрасываются в урну.

4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В основе аварий могут лежать технические причины, человеческий фактор и следствия экологических и стихийных факторов.

В лаборатории Института оптики атмосферы, прежде всего, существует вероятность возникновения пожара, причиной которого могут быть неисправности в используемом электрооборудовании, 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 строительномонтажных работ;
- возникновение короткого замыкания;
- перегрузка сети, приводящая к сильному нагреву токоведущих частей и загорание изоляции;
- нарушения правил пожарной безопасности.

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. Все сотрудники организации должны проходить инструктаж и обучение правилам поведения при пожаре.

Аварии, причиной которых являются стихийные факторы, в нашем случае практически полностью исключены, поскольку институт находится в городе Томске, географическое положение которого 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.

4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В период разработки и тестирования системы синхронизации высокоскоростного лазерного монитора в Институте оптики атмосферы соблюдались все правила безопасности жизнедеятельности, подлежащие исполнению согласно федеральному законодательству и нормативным правовым актам.

Согласно Трудовому кодексу РФ работник обязан:

- 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.

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.

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. Таким образом, работодатель должен

изучать практику охраны труда и советоваться с опытными специалистами данной области. Работодатель обязан организовывать обучение и инструктаж работников безопасным методам и приемам труда, аттестации рабочих мест с последующей сертификацией работ по охране труда в организации, 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.

Организационные мероприятия обеспечения безопасности

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.

В соответствии с приведенным ГОСТ каждое рабочее место должно занимать по площади не менее 6 м² и по объему – не менее 15 м³.

Также указанным ГОСТ устанавливается высота рабочей поверхности при организации рабочего места в зависимости от вида проводимых работы. Электромонтажные работы, производимые при разработке системы синхронизации высокоскоростного лазерного монитора, относят к тонким работам. Таблица 4.9 содержит требования к высоте рабочей поверхности при организации рабочего места.

Таблица 5. 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.)	930	1020	975
	835	905	870

Лаборатория включает два оборудованных рабочих места с местным освещением и вентиляцией. Геометрические размеры пространства, отводимого для рабочего места, удовлетворяют требованиям, приведенным в ГОСТ 12.2.032-78.

Распорядок рабочего дня предусматривает технологические перерывы и проветривание помещения.

Заключение.

Целью данной выпускной квалификационной была оптимизация параметров для системы «Генератор – усилитель мощности» на парах бромида меди. Был разработан генератор нового типа – индукционного, проведены серии экспериментов с традиционной (с внутренними электродами) и емкостной (с внешними электродами) накачкой при разделении функций нагрева и возбуждения. В результате получена генерация, мощность которой достигала 20мВт. Это подтвердило возможность использования индукционного нагрева в системе ГРТ.

Был реализован лабораторный макет «Генератор – усилитель мощности» на основе CuBr-лазеров. Были получены и описаны зависимости мощности от временного сдвига. Оптимальный временной сдвиг с точки зрения получения максимальной мощности равнялся 0нс, мощность, полученная при этом достигала значения 920мВт. Результаты подтверждают, что реализованный лабораторный макет может использоваться для усиления мощности.