

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: «Электроника и наноэлектроника» 11.04.04
Уровень образования: магистр
Отделение материаловедения
Период выполнения: 2017/2018 учебный год

МАГИСТЕРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|---|
| Оптимизация разрядного контура возбуждения CuBr лазера |

УДК 621.373.[621.319.4+621.316.933]

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|------------------------|---------|------|
| 4НМ71 | Веселый Иван Андреевич | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| доцент | Тригуб Максим Викторович | К.Т.Н | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------|-----------------------------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент ОСГН | Жаворонок Анастасия Валерьевна | - | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель ШБИП | Романова С.В. | - | | |

По разделу на английском языке

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------------|---------|------|
| доцент | Аксёнова Н.В. | кандидат филологических наук | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------------------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Электроника и наноэлектроника | Яковлев В.Ю. | д. ф-м. н., профессор | | |

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

| Код результата | Результат обучения |
|-------------------------------------|--|
| Универсальные компетенции | |
| P1 | Способность <i>совершенствовать</i> и развивать свой <i>интеллектуальный и общекультурный</i> уровень, добиваться <i>нравственного и физического совершенствования</i> своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности. |
| P2 | Способность <i>использовать иностранный язык в профессиональной сфере.</i> |
| P3 | Способность применять на практике <i>навыки и умения в организации</i> научно-исследовательских и производственных работ, в <i>управлении</i> коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности |
| P4 | Способность использовать методологические основы <i>научного познания и творчества</i> , научную информацию в развитии отрасли, навыки проведения работ с использованием <i>современных информационных технологий</i> ; синтезировать и критически резюмировать информацию. |
| Профессиональные компетенции | |
| P5 | Способность применять <i>углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники. |
| P6 | Способность <i>ставить и решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности |
| P7 | Способность выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений. |
| P8 | Способность выполнять инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов. |

| | |
|-----|---|
| P9 | Способность проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса. |
| P10 | Способность проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные</i> работы электроэнергетического и электротехнического оборудования. |
| P11 | Способность осваивать <i>новое</i> электроэнергетическое и электротехническое <i>оборудование</i> ; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт. |
| P12 | Способность разрабатывать <i>рабочую проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; <i>составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами</i> технической эксплуатации оборудования и организации работы |

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

Школа ИШНПТ

Направление подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

Отделение школы Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) _____ (Дата) Яковлев В.Ю.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|--------------------------|
| магистерской диссертации |
|--------------------------|

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|------------------------|
| 4НМ71 | Веселый Иван Андреевич |

Тема работы:

| | |
|--|--|
| Оптимизация разрядного контура возбуждения CuBr лазера | |
| Утверждена приказом директора | |

Срок сдачи студентом выполненной работы:

| | |
|--|--|
| | |
|--|--|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|--|
| Исходные данные к работе | <i>Объект исследования – эффективность возбуждения лазера на парах бромида меди. Газоразрядная трубка длиной 30 см, диаметр 4 см.</i> |
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов | <ol style="list-style-type: none">1. Обзор литературы по теме диссертации;2. Выявление особенностей и недостатков в работе CuBr лазера;3. Испытания прототипа CuBr лазера с модифицированной схемой контура возбуждения;4. Исследование влияния топологии разрядного контура возбуждения CuBr лазера на эффективность энерговыклада в среду |

| | |
|---|---|
| | 5. Анализ данных и выбор модификации контура возбуждения $CuBr$ лазера, обеспечивающих максимальный прирост КПД |
| Перечень графического материала | Презентация, выполненная в MS PowerPoint |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы | |
| Раздел | Консультант |
| Социальная ответственность | Романова Светлана Владимировна |
| Финансовый менеджмент | Жаворонок Анастасия Валерьевна |
| Раздел на английском языке | Аксёнова Наталия Валерьевна |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| Обзор литературы | |

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | |
|---|--|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------|------------------------|---------|------|
| доцент | Тригуб Максим Викторович | к.т.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|------------------------|---------|------|
| 4НМ71 | Веселый Иван Андреевич | | |

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

Студенту:

| | |
|---------------|---------------------------|
| Группа | ФИО |
| 4НМ71 | Веселому Ивану Андреевичу |

| | | | |
|--------------------------------|--------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Школа | ИШНПТ | Отделение | Отделение материаловедения |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | 11.04.04 |

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|---|
| 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта |
| 2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований | Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий. |
| 3. Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок | Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ |
| 4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности | Проведение оценки экономической эффективности использования CuVr лазера в промышленных условиях |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

| |
|--|
| 1. Оценка конкурентоспособности технических решений |
| 2. Матрица SWOT |
| 3. График проведения и бюджет НИ |
| 4. Расчёт денежного потока |
| 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ |

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

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|-------------------|----------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Ассистент ОСГН | Жаворонок А.В. | — | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|--------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 4НМ71 | Веселый И.А. | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | |
|---------------|---------------------------|
| Группа | ФИО |
| 4НМ71 | Веселому Ивану Андреевичу |

| | | | |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|----------------------------|
| Школа | ИШНПТ | Отделение | Отделение материаловедения |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | 11.04.04 |

Тема ВКР:

| | |
|--|---|
| Оптимизация разрядного контура возбуждения CuBr лазера | |
| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: | |
| <p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения</p> | <p><i>Объект исследования – CuBr лазер. Область исследования – физические процессы проходящие в разряде газа внутри ГРТ лазера. Область применения – промышленные установки.</i></p> |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| <p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | <p>Нормы трудового законодательства для работы в лаборатории:</p> <ul style="list-style-type: none"> – НПБ 105-03 – ТК РФ Статья 21. Основные права и обязанности работника. – Федеральный закон от 30.06.2006 N 90-ФЗ <p>Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Федеральный закон от 28.12.2013 N 421-ФЗ(условия труда и требования охраны труда на рабочем месте, включая реализацию прав, предоставленных законодательством о специальной оценке условий труда) |
| <p>2. Производственная безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Анализ выявленных вредных и опасных факторов - Обоснование мероприятий по | <p>Выявленные вредные и опасные производственные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1)Отклонение показателей микроклимата в помещении 2)Повышенное содержание озона в воздухе |

| | |
|---|--|
| снижению воздействия | 3) Недостаток освещённости рабочей зоны 4) Лазерное излучение (прямое, рассеянное, зеркальное или диффузно отраженное) 5) Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека |
| Обеспечение экологической безопасности. | Данное исследование не загрязняет атмосферу, гидросферу и литосферу. |
| Защита в чрезвычайных ситуациях. | – Возникновение пожара – Наиболее распространенным видом ЧС при работе с электрическими установками в лаборатории является пожар по причине скачка напряжения, поврежденных частей проводки или неисправного оборудования . |

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

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель ШБИП | Романова С.В. | – | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------|---------|------|
| 4НМ71 | Веселый И.А. | | |

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

Направление подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Уровень образования магистратура

Отделение школы Отделение материаловедения

Период выполнения весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

| |
|--------------------------|
| магистерская диссертация |
|--------------------------|

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

| | |
|--|---------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 05.06.2019 г. |
|--|---------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|-------------------|--|------------------------------------|
| <i>01/05/2018</i> | <i>Основная часть</i> | <i>60</i> |
| <i>05/05/2018</i> | <i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и Ресурсосбережение</i> | <i>15</i> |
| <i>15/05/2018</i> | <i>Социальная ответственность</i> | <i>10</i> |
| <i>30/05/2018</i> | <i>Обязательное приложение на иностранном языке</i> | <i>15</i> |
| | | <i>Сумма: 100 баллов</i> |

Составил преподаватель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Тригуб Максим Викторович | кандидат технических | | |

СОГЛАСОВАНО:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Электроника и нанoeлектроника | Яковлев В.Ю. | д.ф.м.н. | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 92 с., 11 рис., 29 табл., 24 источника.

Ключевые слова: лазер на парах галогенидов, CuBr лазер, лазер на парах металлов, разрядный контур лазера, модификация контура возбуждения лазера.

Объектом исследования является контур возбуждения CuBr лазера.

Цель работы – оптимизация разрядного контура источника питания CuBr лазера для повышения эффективности ввода энергии в среду и, как следствие, повышение КПД лазера.

В процессе работы проводились: подготовка схем запуска и системы регистрации; измерение характеристик разрядного контура лазера и его выходной мощности; регистрация осциллограмм тока разряда в газоразрядной трубке (ГРТ), напряжения на электродах ГРТ, выходной мощности лазера.

Данная работа выполнялась в лаборатории квантовой электроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

В результате выполнения работы исследовано влияние топологии разрядного контура на эффективность ввода энергии в активную среду лазера на парах бромида меди. Проведены эксперименты, собраны и проанализированы данные.

Степень внедрения: частичная.

Область применения: промышленные и экспериментальные лазерные установки на парах металлов.

Оглавление

| | |
|--|----|
| Введение..... | 13 |
| 1 Обзор литературы | 15 |
| 1.1 Общий принцип работы газового лазера | 15 |
| 1.2 Особенности газов как лазерных материалов | 16 |
| 1.3 Создание активной газовой среды в газоразрядных лазерах. | 16 |
| 1.4 Лазер на парах меди..... | 18 |
| 1.4.1 Основные особенности ЛПМ..... | 21 |
| 1.5 Постановка задачи | 22 |
| 2. Экспериментальная часть | 24 |
| 2.1 Описание установки..... | 24 |
| 2.2 Методики измерений | 25 |
| 2.2.1 Параметры запуска лазерной установки | 25 |
| 2.2.2 Расчет КПД..... | 25 |
| 2.2.3 Измерительная аппаратура | 26 |
| 2.3 Конструктивные особенности экспериментальной установки | 27 |
| 3. Результаты исследования | 30 |
| 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 37 |
| 4.1 Предпроектный анализ | 37 |
| 4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования | 37 |
| 4.1.2 Анализ конкурентных решений..... | 38 |
| 4.1.3 SWOT-анализ | 40 |
| 4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации | 43 |
| 4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования | 45 |
| 4.2 Инициация проекта..... | 45 |
| 4.2.1 Цели и результаты проекта | 45 |
| 4.2.2 Ограничения и допущения проекта | 46 |
| 4.3 Планирование управления научно-техническим проектом | 47 |
| 4.3.1 Иерархическая структура работ проекта | 47 |
| 4.3.2 План проекта | 48 |
| 4.4 Бюджет научного исследования..... | 50 |
| 4.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)..... | 50 |
| 4.4.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ | 51 |
| 4.4.3 Основная заработная плата | 52 |
| 4.4.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала | 54 |
| 4.4.5 Отчисления на социальные нужды | 55 |
| 4.4.6 Накладные расходы..... | 56 |
| 4.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта..... | 56 |
| 4.5 Организационная структура проекта | 57 |
| 4.6 План управления коммуникациями проекта..... | 58 |
| 4.6.1 Реестр рисков проекта..... | 59 |
| 4.7 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..... | 61 |
| 5. Социальная ответственность | 65 |
| 5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 65 |

| | |
|--|----|
| 5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства | 65 |
| 5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны | 66 |
| 5.1.3 Нормирование лазерного излучения..... | 67 |
| 5.2 Профессиональная социальная безопасность | 69 |
| 5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследования | 69 |
| 5.2.2 Отклонение параметров микроклимата в помещении..... | 70 |
| 5.2.3 Недостаток освещенности рабочей зоны | 70 |
| 5.2.4 Умственное перенапряжение | 72 |
| 5.2.5 Повышенное содержание озона в воздухе | 73 |
| 5.2.6 Лазерное излучение: прямое, зеркальное отраженное, диффузное отражение | 73 |
| 5.2.7 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека | 75 |
| 5.3 Экологическая безопасность..... | 76 |
| 5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 77 |
| 5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований..... | 77 |
| 5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС | 77 |
| Заключение | 79 |
| Список литературы | 81 |
| Приложение I..... | 84 |

Введение

Современное развитие науки и техники характеризуется широким внедрением лазеров практически во все отрасли промышленности, строительства, медицины и т.п. Безусловно, одним из основных направлений применения лазеров является машиностроение.

В настоящее время лазерные установки используются в большинстве автомобильных и самолетостроительных фирм. Их использование позволяет с высокой точностью и скоростью производить: резку листового металла, сварку, сверление отверстий, термообработку деталей [3].

Второе, не менее важное направление применения лазеров связано со сферой информационных технологий: лазеры работают в лазерных принтерах, различных лазерных цветомузыкальных установках с использованием лазеров, как записывающих устройств, лазерных дисков, а также дальномерных и локационных установках.

Третье направление, где широко внедряются лазеры - это медицина. Экимерные лазеры используются для лечения любых заболеваний глаз в офтальмологии; для выполнения хирургических операций, особенно на крове наполненных органах, в частности, на сердце для восстановления кровотока в мышцах миокарда; в физиотерапии для быстреего заживления ран, срастания костей, лечения остеохондроза и многих других заболеваний.

Существуют и другие перспективные области применения лазеров, среди которых и направление, связанное с проведением термоядерного синтеза. Это направление характеризует возможность создания лазерных практически безопасных термоядерных электростанций с неисчерпаемыми источниками сырья (дейтерия и трития) [2].

Идея осуществления термоядерных реакций под действием лазеров была предложена в России лауреатом Нобелевской премии Басовым Н.Г. и О.Н. Крохиным в 1963 г., а в 1968 г. на их установке в Физическом Институте РАН зарегистрированы термоядерные нейтроны при сферически-симметричном облучении таблетки из

термоядерного горючего. В настоящее время во Франции ведется строительство международного термоядерного реактора, в котором будет использоваться лазерная установка, созданная в Российском федеральном ядерном центре – ВНИИЭФ (г. Саров, Нижегородская обл., предприятие Госкорпорации «Росатом») [1].

Лазеры, генерирующие непрерывное излучение, позволяют создавать интенсивность 10^5 - 10^8 Вт/см², что достаточно для плавления и испарения любого материала. При высокочастотной генерации импульсов интенсивность излучения достигает величин 10^{15} - 10^{18} Вт/см², что позволяет наблюдать нелинейные оптические эффекты и открывает возможность создания лазерного управляемого термоядерного синтеза.

Кроме того, благодаря своим уникальным свойствам, лазеры нашли широкое применение в космонавтике, авиации, судостроении, геодезии, строительстве, при исследовании структуры вещества, в вычислительной технике, микроэлектронике, осуществлении направленных химических реакций, разделении изотопов и т.п.

В настоящее время изучение и внедрение лазерной техники только набирает свой оборот, поэтому улучшение ее характеристик обеспечивает огромный прорыв в области науки и производства.

1 Обзор литературы

1.1 Общий принцип работы газового лазера

Газовый лазер (Г. л.) – лазер с активной средой в виде газов, паров металлов и их смесей. Трубка с активной средой помещается в оптический резонатор, состоящий в простейшем случае из двух параллельных зеркал, одно из них является полупрозрачным [2].

Для создания условий вынужденного испускания необходимо обеспечить инверсию населенности. По типу рабочих переходов различают лазеры на переходах атомов и ионов, молекулярные лазеры, а также эксимерные лазеры. Затем первичный фотон, испускается с помощью внешнего воздействия. Испущенная в каком-либо месте трубки световая волна при распространении её через газ усиливается за счёт актов вынужденного испускания, порождающих лавину фотонов. Дойдя до полупрозрачного зеркала, волна частично проходит через него. Эта часть полученной световой энергии излучается Г. л.. Другая же часть отражается от зеркала и даёт начало новой лавине фотонов. Фотон, созданный переходом электрона на нижний энергетический уровень идентичен по частоте, фазе и направлению распространения фотону, который изначально выбил данный электрон. Благодаря этому излучение лазера может обладать чрезвычайно большой монохроматичностью, мощностью и резкой направленностью [5].

Первый Г. л. был создан в США в 1960 А. Джаваном. Существующие Г. л. работают в широком диапазоне частот. Длины волн лежат в диапазоне от ультрафиолетового излучения до инфракрасного. Такие лазеры могут работать как в импульсном, так и в непрерывном режиме [4].

В излучении Г. л. наиболее отчётливо проявляются характерные свойства лазерного излучения – высокая направленность и монохроматичность. Существенным достоинством является их способность работать в непрерывном режиме. Применение новых методов возбуждения и переход к более высоким давлениям газа могут резко увеличить мощность Г. л. С помощью Г. л. возможно дальнейшее освоение далёкого

инфракрасного диапазона, диапазонов ультрафиолетового и рентгеновского излучений [4].

1.2 Особенности газов как лазерных материалов

По сравнению с твёрдыми телами и жидкостями газы обладают существенно меньшей плотностью и более высокой однородностью. Поэтому световой луч в газе практически не искажается, не рассеивается и не испытывает потерь энергии. В таких лазерах сравнительно просто возбудить только один тип электромагнитных волн (одну моду). В результате направленность лазерного излучения резко увеличивается, достигая предела, обусловленного дифракцией света. Расходимость светового луча Г. л. в области видимого света составляет 10^{-5} - 10^{-4} рад, а в инфракрасной области 10^{-4} - 10^3 рад [3].

В отличие от твёрдых тел и жидкостей, составляющие газ частицы (атомы, молекулы или ионы) взаимодействуют друг с другом только при соударениях в процессе теплового движения. Это взаимодействие слабо влияет на расположение уровней энергии частиц. Поэтому энергетический спектр газа соответствует уровням энергии отдельных частиц. Спектральные линии, соответствующие переходам частиц с одного уровня энергии на другой, в газе уширены незначительно. Узость спектральных линий в газе приводит к тому, что в линию попадает мало мод резонатора [5].

С другой стороны, низкая плотность газов препятствует получению высокой концентрации возбуждённых частиц. Поэтому плотность генерируемой энергии у Г. л. существенно ниже, чем у твердотельных лазеров [3].

1.3 Создание активной газовой среды в газоразрядных лазерах.

Активной средой Г. Л. является совокупность возбуждённых частиц газа (атомов, молекул, ионов), обладающих инверсией населённостей. Это означает, что число частиц, «населяющих» более высокие энергетические уровни, больше, чем число частиц, находящихся на более низких энергетических уровнях. В обычных условиях теплового равновесия населённость низших уровней больше, чем более

высоких, поэтому для появления инверсии населенности необходимо создать необходимые условия. В случае инверсии населённости акты вынужденного испускания фотонов с энергией $h\nu = E_B - E_H$, сопровождающие вынужденный переход частиц с верхнего уровня E_B на нижний E_H , преобладают над актами поглощения этих фотонов. В результате этого активный газ может генерировать электромагнитное излучение частоты

$$\nu = \frac{E_B - E_H}{h} \quad (1.2)$$

, где h – постоянная планка,

ν – частота излучения.

Или с длиной волны

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (1.3)$$

, где c – скорость света в вакууме,

λ – длина волны.

Одна из особенностей газа (или смеси газов) – многообразие физических процессов, приводящих к его возбуждению и созданию в нём инверсии населённости. Возбуждение активной среды излучением газоразрядных ламп, нашедшее широкое применение в твердотельных и жидкостных лазерах, малоэффективно для получения инверсии населённости в Г. Л., т. К. газы обладают узкими линиями поглощения, а лампы излучают свет в широком интервале длин волн. В результате может быть использована только ничтожная часть мощности источника накачки. В подавляющем большинстве Г. Л. Инверсия населённости создаётся в электрическом разряде (газоразрядные лазеры)[11]. Электроны, образующиеся в разряде, при столкновениях с частицами газа (электронный удар) возбуждают их, переводя на более высокие уровни энергии. Устойчивая инверсия населённости создается, если время жизни частиц на верхнем уровне энергии больше, чем на нижнем. Возбуждение атомов и молекул электронным ударом является наиболее разработанным методом получения инверсии

населённости в газах. Метод электронного удара применим для возбуждения Г. Л. Как в непрерывном, так и в импульсном режимах [5].

Возбуждение электронным ударом удачно сочетается с др. механизмом возбуждения – передачей энергии, необходимой для возбуждения частиц одного сорта от частиц др. сорта при неупругих соударениях (резонансная передача возбуждения). Такая передача весьма эффективна при совпадении уровней энергии у частиц разного сорта.

В этих случаях создание активной среды происходит в два этапа: сначала электроны возбуждают частицы вспомогательного газа, затем эти частицы в процессе неупругих соударений с частицами рабочего газа передают им энергию. В результате этого населяется верхний лазерный уровень. Чтобы хорошо накапливалась энергия, верхний уровень энергии вспомогательного газа должен обладать большим собственным временем жизни [3].

1.4 Лазер на парах меди.

Лазер на парах меди (ЛПМ) – высокоэффективный Г. л., в котором для генерации излучения в видимой области спектра используют переходы атомов металлов с резонансного на метастабильные уровни [12]. Основные преимущества ЛПМ – это возможности высокоскоростной пакетной и поимпульсной модуляции, регулирование мощности излучения, высокая надежность и качество. Поэтому ЛПМ находит широкое применение и в промышленных, и медицинских технологиях. Широкие возможности использования импульсного излучения ЛПМ представляют хорошую перспективу для его дальнейшего развития как в качестве инструмента по микрообработке металлических и неметаллических материалов для промышленности электронной техники, точного приборостроения, так в качестве медицинского инструмента для лечения онкологических и неонкологических заболеваний, дерматологии и косметологии. Также ЛПМ находят применение в технологии лазерного разделения изотопов, спектроскопическом анализе состава веществ, зондировании атмосферы [7].

ЛПМ излучает две спектральные линии: зелёную с длиной волны 510 нм и жёлтую – 578 нм. Это излучение испускается возбуждёнными атомами меди, когда они переходят из резонансного состояния (энергия возбуждения около 3,8 эВ) в метастабильные состояния (энергия возбуждения соответственно 1,39 эВ и 1,64 эВ) [4].

На рисунке 1 показаны участвующие в процессе генерации уровни энергии двух наиболее важных лазеров указанной категории – лазеры на парах меди и золота. С точки зрения электронной конфигурации уровни Cu и Au весьма схожи [8]. Поэтому в дальнейшем будет рассмотрен только атом меди. Основное состояние $2S_{1/2}$ атома меди соответствует конфигурации $3d^{10}4s^2$. Когда внешний $4s$ электрон забрасывается на следующий, более высокий $4p$ -уровень, заселяются возбуждённые уровни $2P_{1/2}$ и $2P_{3/2}$. Эти уровни сильно связаны с основным состоянием дипольно разрешённым переходом. Уровни $2D_{3/2}$ и $2D_{5/2}$ соответствуют конфигурации $3d^94s^2$, имеющей более низкую энергию, а переходы $2D \rightarrow 2S_{1/2}$ дипольно запрещены. Атомы меди из состояния $2p$ быстро (время жизни порядка 7 нс) релаксируют посредством спонтанного излучения в основное состояние $2S_{1/2}$, в то время как время релаксации уровней $2D$ намного больше (около 0,5 мкс), поскольку этот переход разрешён слабо. Однако при температурах, которые используются в медном ($T = 1500^\circ\text{C}$) и золотом ($T = 1650^\circ\text{C}$, т.к. золото является менее тягучим веществом) лазерах, давление паров достаточно высокое ($\sim 0,1$ мм.рт.ст.), так что вследствие захвата излучения релаксации по каналу $2p \rightarrow 2S_{1/2}$ не происходит. Таким образом, единственный эффективный канал релаксации проходит через состояние $2D$. Релаксация населённости уровня $2D$ осуществляется посредством дезактивации на стенках, если внутренний диаметр трубки невелик (менее 2 см). Для трубок больших размеров было показано, что важную роль играет сверхупругое столкновение $e + \text{Cu}(2D) \rightarrow e + \text{Cu}(2s_{1/2})$. В обоих случаях соответствующее время релаксации очень большое (несколько десятков микросекунд) [5].

Отсюда следует, что генерация на парах меди может осуществляться как на переходе $2P_{3/2} \rightarrow 2D_{5/2}$ (зелёный), так и на $2P_{1/2} \rightarrow 2D_{3/2}$ (жёлтый). Генерация в парах золота происходит в основном на красном переходе ($2P_{1/2} \rightarrow 2D_{3/2}$) поскольку УФ - переход ($2P_{3/2} \rightarrow 2D_{5/2}$) оканчивается на состоянии $2D_{5/2}$, которое при рабочей

температуре в значительной степени заселено.

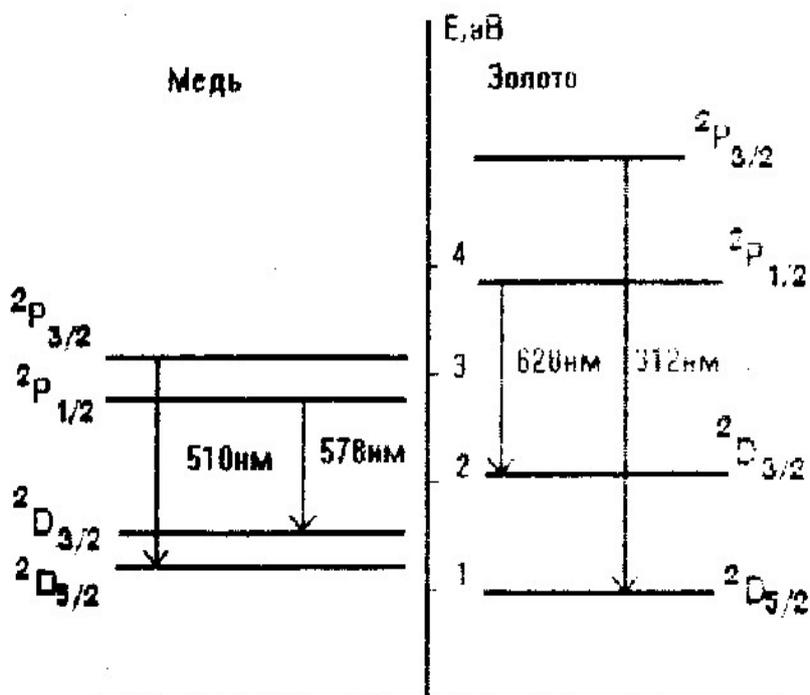


Рисунок 1 – Уровни энергии атомов меди и золота, участвующие в лазерной генерации.

Лазеры на парах меди работают со средней выходной мощностью до 40 Вт в импульсно периодическом режиме с длительностью импульса порядка 20 нс и с частотой повторения импульсов до 20 кГц. На сегодняшний день они являются самыми эффективными (КПД $\sim 1\%$) лазерными источниками в зелёной области спектра. Этот относительно большой КПД связан с высокой квантовой эффективностью медного лазера $\sim 55\%$, так и с большим сечением перехода $2p \rightarrow 2s_{1/2}$ при электронном ударе [5].

Конструктивно лазер состоит из излучателя и блока питания, соединенных кабелем. Активный элемент (рисунок 2) представляет собой кварцевую трубку (1) со встроенными электродами (4), ловушками для CuBr (3), генераторами меди (5), контейнером с цеолитом (6) и окнами (2) для выхода излучения на торцах, заполненную буферным газом. Для нагрева активной зоны используется теплоизоляционный контур (7), а также нагревательный элемент (8). Для нагрева контейнеров с рабочим веществом и цеолитом используются нагреватели (9, 10) с элементами (11, 12). Измерение температуры производится с помощью термопар

(13). Для подключения к вакуумному посту используется магистраль (14). Нагрев разрядного канала с генераторами меди производится от источника питания импульсами амплитудой 10 кВ и длительностью 150-200 нс. По мере прогрева трубки давление паров меди в канале увеличивается. Оптимальное давление паров меди, соответствующее наибольшей мощности генерации лазера, достигается при температуре канала около 800°C[9].

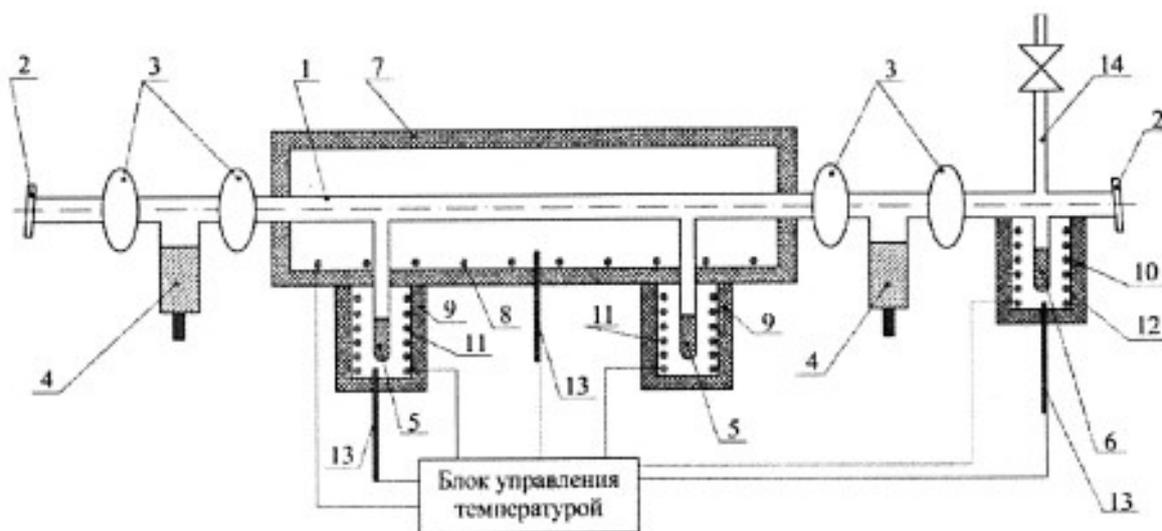


Рисунок 2 – Активный элемент лазера на парах бромида меди с внешним нагревом активной зоны и традиционной накачкой.

1.4.1 Основные особенности ЛПМ.

Впервые генерация на таких переходах была получена в парах марганца (зелёная и инфракрасная области спектра) и парах свинца (красная область спектра) в 1965 г. Несколько позже была получена генерация и в парах меди. Исследования этих, да и других, полученных впоследствии, генераций на γ - π переходах в парах различных металлов подтвердили все ожидаемые характеристики и особенности такого класса лазеров. Из них можно выделить следующие:

- высокую эффективность генерации. Так коэффициент преобразования электрической энергии в световую для этих лазеров в десять раз выше, чем для таких широко известных лазеров как "аргоновый" и "гелий-неоновый";

- сугубо импульсный характер генерации, что связано с метастабильностью

нижнего уровня лазерного перехода. Обычно длительность импульсов излучения не превышает 10-30 нс и они возникают на самом переднем фронте импульсов возбуждения;

- жёсткие требования на систему импульсного питания таких лазеров, которая должна обеспечивать мощные высоковольтные наносекундные импульсы с крутизной нарастания тока 10^9 - 10^{10} А/с. Обычно для возбуждения этих лазеров используют разряд конденсатора небольшой ёмкости (1-5 нФ), заряженного до напряжения 1-15 кВ. Коммутатором разряда служит импульсный водородный тиратрон. Индуктивность разрядного контура таких лазеров должна быть достаточно малой, чтобы обеспечивать требуемую крутизну нарастания импульсов тока[8];

- высокое (рекордное) усиление света активными средами этих лазеров. Обычно усиление столь велико, что мощное вынужденное излучение формируется активной средой либо только с одним зеркалом резонатора, либо совсем без зеркал. Усиление в линейном режиме может достигать величин 400-600 дБ/м. Поэтому требования на качество зеркал резонатора для этих лазеров существенно ниже, чем для всех других лазеров. Обычно в качестве выходного зеркала резонатора в этих лазерах используется прозрачная стеклянная пластинка с отражением 4-8%. [10]

1.5 Постановка задачи

Из проведенного обзора литературы несложно сделать вывод, что модификация разрядного контура является наиболее перспективным направлением в плане повышения КПД лазерной установки. Как уже было сказано выше, на сегодняшний день ЛПМ являются самыми эффективными (КПД ~ 1%) лазерными источниками в зелёной области спектра. Еще большее КПД достигается за счёт использования более совершенных конструкций разрядных камер, оптических резонаторов, систем охлаждения, использования различных газовых смесей, а также модернизации системы возбуждения[11]. Повышение эффективности в области оптимизации оптических резонаторов и систем охлаждения исследованы в достаточной степени. Работу системы возбуждения принято характеризовать с

помощью нескольких коэффициентов полезного действия.

Физические КПД $\eta_p(t)$ и η_p определяют эффективность преобразования электрической энергии, вводимой в разряд во время импульса возбуждения, в энергию генерации соответственно на заданный момент времени t , отсчитываемый от начала импульса возбуждения (текущее время, время окончания импульса генерации) и на момент окончания импульса возбуждения. Динамический КПД лазера характеризует эффективность преобразования электрической мощности, вводимой в разряд, в мощность лазерного излучения. Практический КПД лазера определяет эффективность преобразования энергии, запасенной в накопительном устройстве к началу разряда в энергию генерации[12]. В работе речь пойдет о повышении динамического КПД путем модификации разрядного контура.

Таким образом, основной задачей настоящей работы является испытание прототипа ЛПМ с новым контуром возбуждения и выбор конфигурации, обеспечивающей наибольший прирост КПД.

2. Экспериментальная часть

2.1 Описание установки

Функциональная схема экспериментальной установки представлена на рисунке 3. Основным элементом установки является ГРТ CuBr лазера длиной 30см и диаметром 4см. Мощность, потребляемая от сети, составляла 200 Вт.

Цепь основного разряда включает в себя тиратрон ТГИ1-1000/25, разрядный конденсатор C_s , дроссель D , шунтирующий разряд на время перезарядки разрядного конденсатора. При разряде накопительной емкости $C_s=1000$ пФ ток основного разряда протекает между электродами ГРТ. Энергия, передаваемая в разряд равна 12,5 МДж. Зарядка этой емкости до ~ 10 кВ производится посредством тиратрона. Амплитуда тока основного разряда составляет примерно 50 А[6].

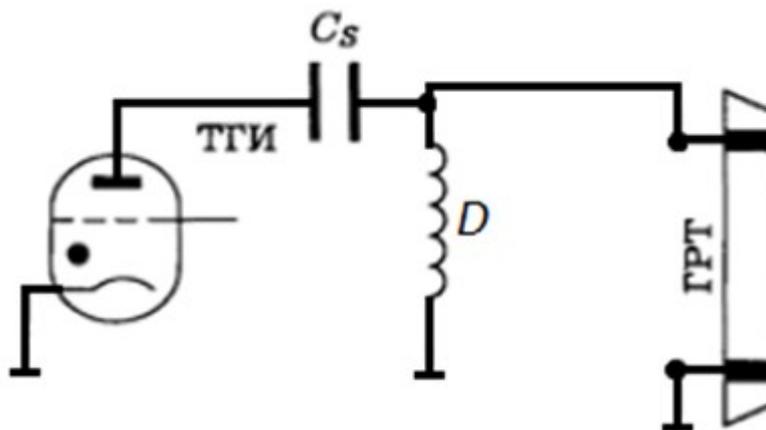


Рисунок 3 – Общая схема экспериментальной установки. ГРТ – газоразрядная трубка; D – дроссель; C_s – разрядный конденсатор; ТГИ – тиратрон ТГИ1-1000/25.

2.2 Методики измерений

2.2.1 Параметры запуска лазерной установки

Для корректного анализа данных необходимо вывести ГРТ в номинальный режим работы. Как уже отмечалось выше, CuBr лазеры могут излучать свет в зеленой (510 нм) и желтой (578 нм) области спектра. В данной работе измерения проводились для излучения зеленого света с длиной волны 510 нм. Для его получения необходимо нагреть пары бромида меди до температуры примерно 530°C. Однако, нагревать пары CuBr при непрогретом до температуры 800°C канале чревато разлетом паров по всему объему ГРТ и последующему оседанию на всех его поверхностях, в том числе и окнах. Это в свою очередь приводит к их загрязнению и уменьшению качества излучения.

Поэтому при работе с лазерами на парах металлов, в том числе и CuBr лазере необходимо строго соблюдать процедуру запуска лазера:

1. Разогрев тиратрона ТГИ1-1000/25 до достижения им пробивного напряжения ГРТ
2. Получение устойчивого разряда в ГРТ
3. Разогрев канала ГРТ с помощью нагревательного элемента до температуры 800°C
4. Разогрев паров бромида меди до температуры ~530°C
5. Настройка оптического резонатора

При остановке лазера необходимо сначала охладить пары меди до температуры ~250°C, а уже потом прекращать разряд в ГРТ. Ждать охлаждения канала ГРТ перед выключением не требуется. Все это также вызывает строгие требования к бесперебойности разряда в ГРТ.

2.2.2 Расчет КПД

Чтобы определить эффективность данных модификаций необходимо зафиксировать увеличение динамического КПД. Динамический КПД характеризует эффективность преобразования электрической мощности, вводимой разряд, в

мощность лазерного излучения. Для этого замерялись вольтамперные характеристики разряда в ГРТ, оптическое излучение лазера, и выходное напряжение тиратрона.

Динамическое КПД лазера рассчитаем по формуле:

$$\eta_t = \frac{Q_d}{Q_c} \quad (2.1)$$

$$Q_d = \int_{t_0}^{t_1} P_{\text{МГН}} \quad (2.2)$$

$$Q_c = \frac{C_s U_c^2}{2} \quad (2.3)$$

$$P_{\text{МГН}} = U_{\text{ГРТ}} \cdot I_{\text{ГРТ}} \quad (2.4)$$

где Q_d – значение электрической энергии, вводимой в разряд во время импульса возбуждения;

$P_{\text{МГН}}$ – мгновенное значение мощности светового излучения лазера;

$U_{\text{ГРТ}}$ – напряжение разряда в ГРТ;

$I_{\text{ГРТ}}$ – ток разряда в ГРТ;

Q_c – энергия, запасенная в конденсаторе;

C_s – емкость разрядного конденсатора;

U_c – напряжение разрядного конденсатора;

t_1 – время, при котором $I_{\text{ГРТ}}$ принимает максимальное значение;

t_0 – время начала развития разряда.

Практическое КПД лазера рассчитаем по формуле:

$$\eta_p = \frac{P_{\text{ИСХ}}}{P_{\text{СВ}}} \quad (2.5)$$

где $P_{\text{ИСХ}}$ – потребляемая мощность установки;

$P_{\text{СВ}}$ – оптическая мощность полученного излучения.

2.2.3 Измерительная аппаратура

Для расчетов была взята входная мощность путем измерения напряжения на тиратроне. Для регистрации параметров импульса тока через ГРТ использовались датчик тока, выполненный на основе пояса Роговского и Высоковольтный щуп с

установленным коэффициентом деления 1:1000 для измерения напряжения между электродами ГРТ. Импульсы регистрировались осциллографом LeCroy WaveJet-324. Мощность оптического излучения фиксировалась датчиком Ophir Nova.

2.3 Конструктивные особенности экспериментальной установки

В данной работе проводились эксперименты с контуром возбуждения ГРТ CuBr лазера. В его конструкцию внесены некоторые изменения с целью повышения КПД.

В первом эксперименте модификаций не производилось, ГРТ была напрямую подключена к тиратрону (рисунок 3). Во втором эксперименте в разрядный контур по очереди добавлены импульсные повышающие трансформаторы с коэффициентами трансформации $K_{тр}=2$ и $K_{тр}=4$ соответственно. Обмотки данного трансформатора изготовлены из коаксиального кабеля. Десять витков для трансформатора $K_{тр}=2$ и 12 для $K_{тр}=4$ намотаны на 4 ферритовых кольца K100 × 56 × 15 марки 2000НМ. Жила кабеля служила вторичной обмоткой, а его оплетка была разделена на два включенных параллельно отрезка по 4 и 3 витка соответственно и образовывала первичную обмотку трансформатора. Данная модификация должна повысить амплитуду напряжения на ГРТ, а также уменьшить общий энергозатрат в среду на величину около 20%. Это связано, в первую очередь с укорочением длительности импульса и его фронта [13]. Вводимая в разряд мощность после использования трансформатора составила 12,1 МДж при напряжении 10 кВ, что говорит о низких потерях и близкому к расчетному коэффициенту трансформации. Измененная схема с трансформаторами показана на рисунке 4.

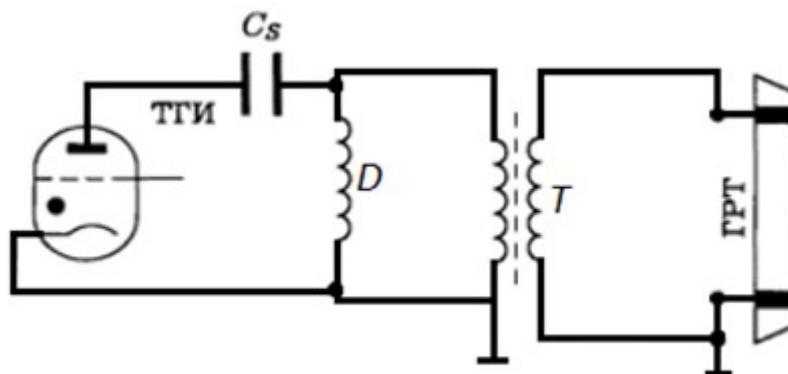


Рисунок 4 – Общая схема экспериментальной установки. ГРТ – газоразрядная трубка; D – дроссель; C_s – разрядный конденсатор; ТГИ – тиратрон ТГИ1-1000/25; Т – повышающий трансформатор.

В третьем эксперименте между электродами ГРТ подключен корректирующий (обострительный) конденсатор, который вызывает задержку между импульсом напряжения и началом развития тока в ГРТ, что в свою очередь увеличивает крутизну переднего фронта импульса напряжения. Величина электрической емкости конденсатора подбиралась эмпирическим путем. Выбор сделан в пользу конденсатора емкостью $C_o = 100$ пФ, поскольку он дает наибольший прирост мощности излучения. Измененная схема с корректирующим (обостряющим) конденсатором показана на рисунке 5.

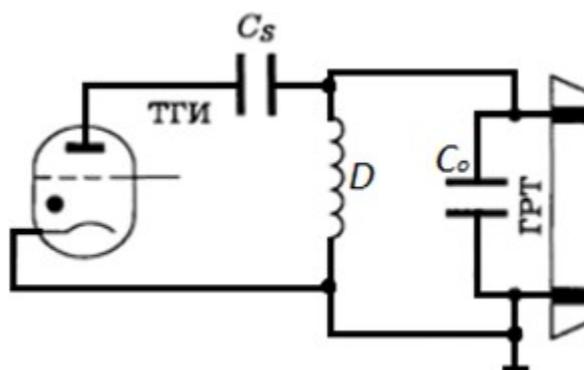


Рисунок 5 – Общая схема экспериментальной установки. ГРТ – газоразрядная трубка; D – дроссель; C_s – разрядный конденсатор; ТГИ – тиратрон ТГИ1-1000/25; C_o – обострительный конденсатор.

В третьем эксперименте в схему добавлены обе модификации, поскольку данные улучшения не противоречат друг другу и возможно совместное их

использование. Измененная схема с трансформатором и корректирующим (обостряющим) конденсатором показана на рисунке 6.

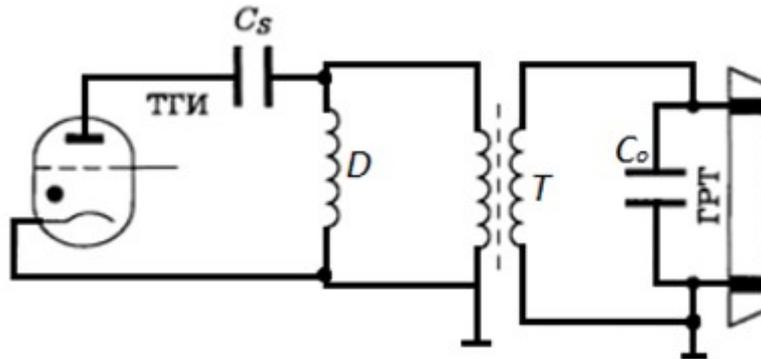


Рисунок 6 – Общая схема экспериментальной установки. ГРТ – газоразрядная трубка; D – дроссель; C_s – разрядный конденсатор; ТГИ – тиратрон ТГИ1-1000/25; C_o – обострительный конденсатор; Т – повышающий импульсный трансформатор.

3. Результаты исследования

В первом эксперименте снимались характеристики лазера без изменений для вычисления КПД и последующего сравнения с результатами модификаций разрядного контура. Осциллограммы тока, напряжения и мгновенные значения мощности представлены на рисунке 7

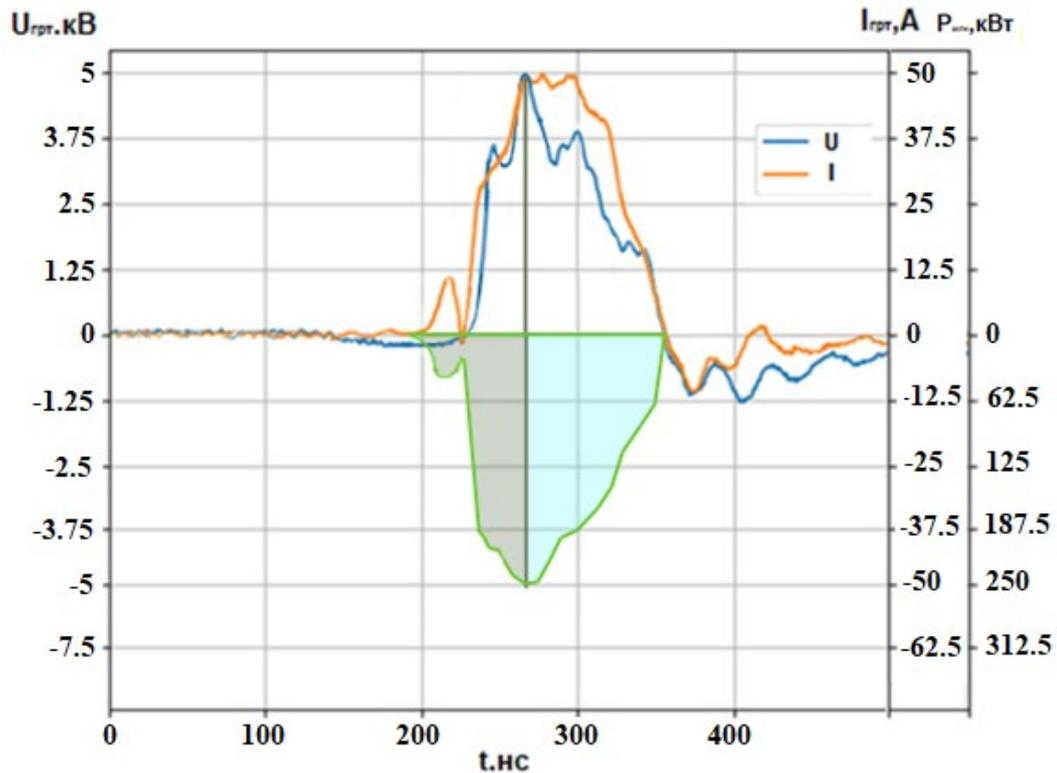


Рисунок 7 – Осциллограммы импульсов напряжения на ГРТ и тока через ГРТ, а также мгновенной мощности в случае прямого разряда накопительного конденсатора.

Значения входного напряжения с тиратрона, характеристики разряда в ГРТ, а также оптическая мощность излучения $P_{св}$ представлены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Данные первого эксперимента

| | $U_{тир}$ | $U_{грт}$ | $I_{грт}$ | C_s | $P_{св}$ | $P_{исх}$ |
|----------|-----------|-----------|-----------|---------|----------|-----------|
| Значения | 5 кВ | 5 кВ | 50 А | 1000 пФ | 0.18 Вт | 200 Вт |

Вводимую мощность в разряд рассчитаем по формуле 2.3:

$$Q_c = \frac{C_s U_c^2}{2} = 12,5 \text{ мДж}$$

Энергию разряда в ГРТ рассчитаем по формуле 2.2:

$$Q_d = \int_{t_0}^{t_1} P_{\text{МГН}} = 5,5 \text{ мДж}$$

Динамическое КПД лазера рассчитаем по формуле 2.1:

$$\eta_t = \frac{Q_d}{Q_c} = \frac{5,5}{12,5} = 44\%$$

Практическое КПД лазера рассчитаем по формуле 2.5:

$$\eta_p = \frac{P_{\text{исх}}}{P_{\text{св}}} = \frac{0,18}{200} = 0,09\%$$

Во втором эксперименте снимались характеристики лазера, в контур которого добавлен импульсный трансформатор с коэффициентом $K_{\text{тр}}=2,5$. Осциллограммы тока и напряжения представлены на рисунке 8

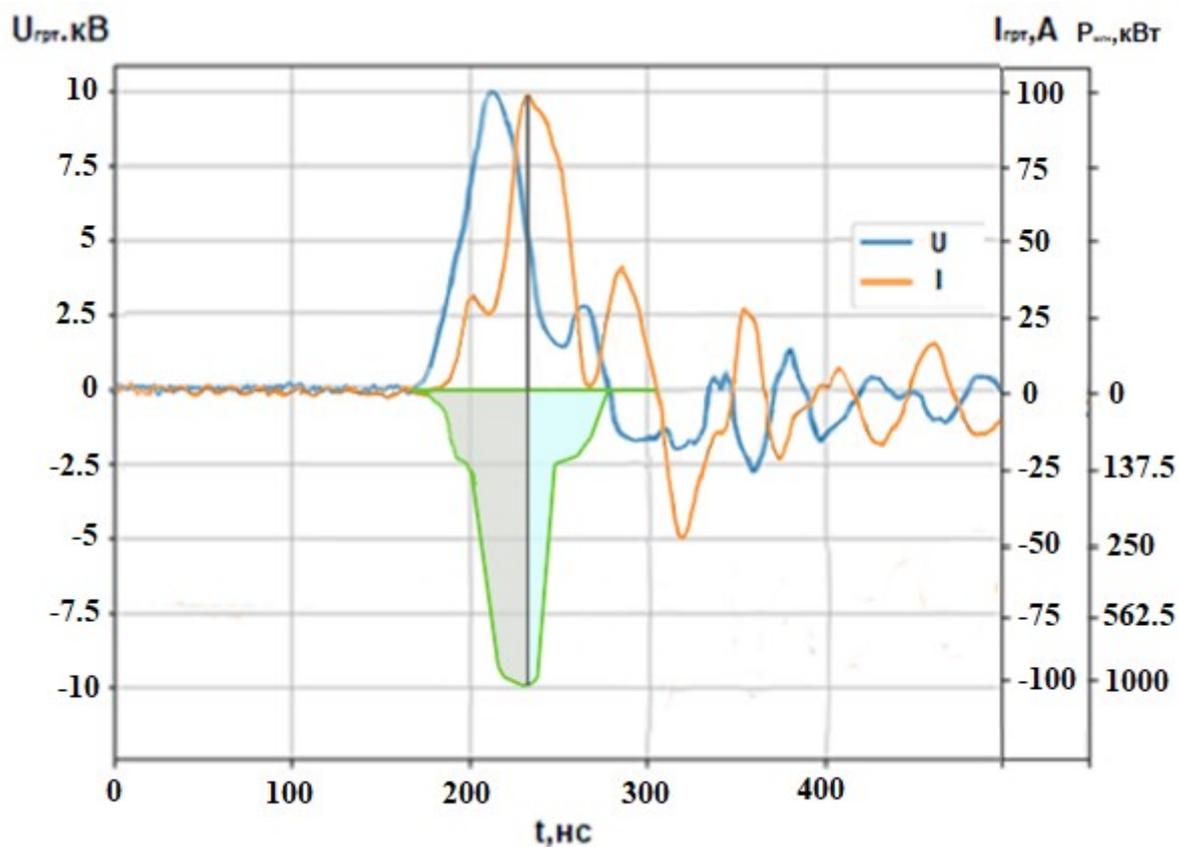


Рисунок 8 – Осциллограммы импульсов напряжения на ГРТ и тока через ГРТ, а также мгновенной мощности в случае разряда накопительного конденсатора через импульсный трансформатор.

Значения входного напряжения с тиратрона, характеристики разряда в ГРТ, а также оптическая мощность излучения $P_{св}$ представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2. Данные второго эксперимента

| | $U_{гир}$ | $U_{грт}$ | $I_{грт}$ | C_s | $P_{св}$ | $P_{исх}$ |
|----------|-----------|-----------|-----------|---------|----------|-----------|
| Значения | 5 кВ | 10 кВ | 100 А | 1000 пФ | 0.23 Вт | 200 Вт |

Вводимую мощность в разряд рассчитаем по формуле 2.3:

$$Q_c = \frac{C_s U_c^2}{2} = 12,5 \text{ мДж}$$

Энергию разряда в ГРТ рассчитаем по формуле 2.2:

$$Q_d = \int_{t_0}^{t_1} P_{\text{МГН}} = 8,2 \text{ мДж}$$

Динамическое КПД лазера рассчитаем по формуле 2.1:

$$\eta_t = \frac{Q_d}{Q_c} = \frac{8,2}{12,5} = 66\%$$

Практическое КПД лазера рассчитаем по формуле 2.5:

$$\eta_p = \frac{P_{\text{исх}}}{P_{\text{св}}} = \frac{0,23}{200} = 0,115\%$$

Заметно увеличение динамического КПД на 24%, несмотря на общее уменьшение энерговклада в систему. Это объясняется меньшим временем разряда емкости, и, как следствие большей крутизной переднего фронта. Практический КПД вырос в 1.27 раза.

Эксперименты с импульсным трансформатором $K_{\text{тр}}=4$ также проводились, однако возросшая индуктивность разрядного контура периодически приводила к залипанию тиратрона. Это в свою очередь вызывало прекращению разряда в ГРТ. Как уже упоминалось выше, прекращение разряда в ГРТ ведет к разлету паров CuBr и последующему их оседанию на стенках трубки. Чтобы не допустить порчи ГРТ, было принято решение прекратить эксперименты с данным трансформатором.

В третьем эксперименте снимались характеристики лазера, между электродами которого добавлена емкость 100 нФ. Осциллограммы тока и напряжения представлены на рисунке 9

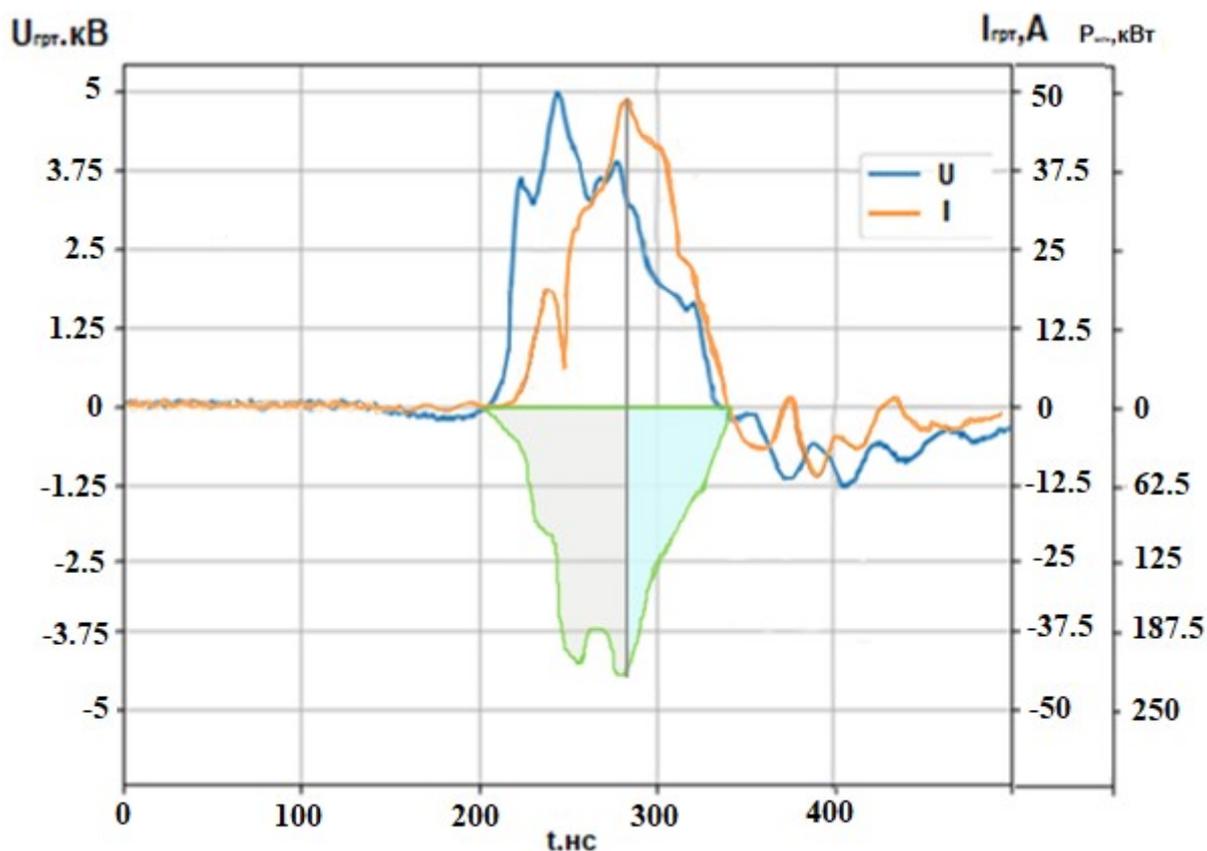


Рисунок 9 – Осциллограммы импульсов напряжения на ГРТ и тока через ГРТ, а также мгновенной мощности в случае прямого разряда накопительного конденсатора и наличия обострительного конденсатора между электродами ГРТ.

Значения входного напряжения с тиратрона, характеристики разряда в ГРТ, а также оптическая мощность излучения $P_{св}$ представлены в таблице 3.3

Таблица 3.3. Данные третьего эксперимента

| | $U_{тир}$ | $U_{грт}$ | $I_{грт}$ | C_s | $P_{св}$ | $P_{исх}$ |
|----------|-----------|-----------|-----------|---------|----------|-----------|
| Значения | 5 кВ | 5 кВ | 50 А | 1000 пФ | 0.18 Вт | 200 Вт |

Вводимую мощность в разряд рассчитаем по формуле 2.3:

$$Q_c = \frac{C_s U_c^2}{2} = 12,5 \text{ мДж}$$

Энергию разряда в ГРТ рассчитаем по формуле 2.2:

$$Q_d = \int_{t_0}^{t_1} P_{МГН} = 6,7 \text{ мДж}$$

Динамическое КПД лазера рассчитаем по формуле 2.1:

$$\eta_t = \frac{Q_d}{Q_c} = \frac{8,3}{12,5} = 55\%$$

Практическое КПД лазера рассчитаем по формуле 2.5:

$$\eta_p = \frac{P_{исх}}{P_{св}} = \frac{0,22}{200} = 0,09\%$$

Использование обострительного конденсатора вызывает задержку развития тока. Это сдвигает максимум тока к концу разряда, что увеличивает энерговыход в разряд до начала импульса, что в свою очередь увеличивает полезную энергию разряда. Поэтому, несмотря на то что суммарный энерговыход составил ~10 мДж динамический КПД возрос примерно на 10%, относительно схемы без модификаций. Практический КПД не увеличился.

В четвертом эксперименте снимались характеристики лазера с обеими модификациями. Осциллограммы тока и напряжения представлены на рисунке 10

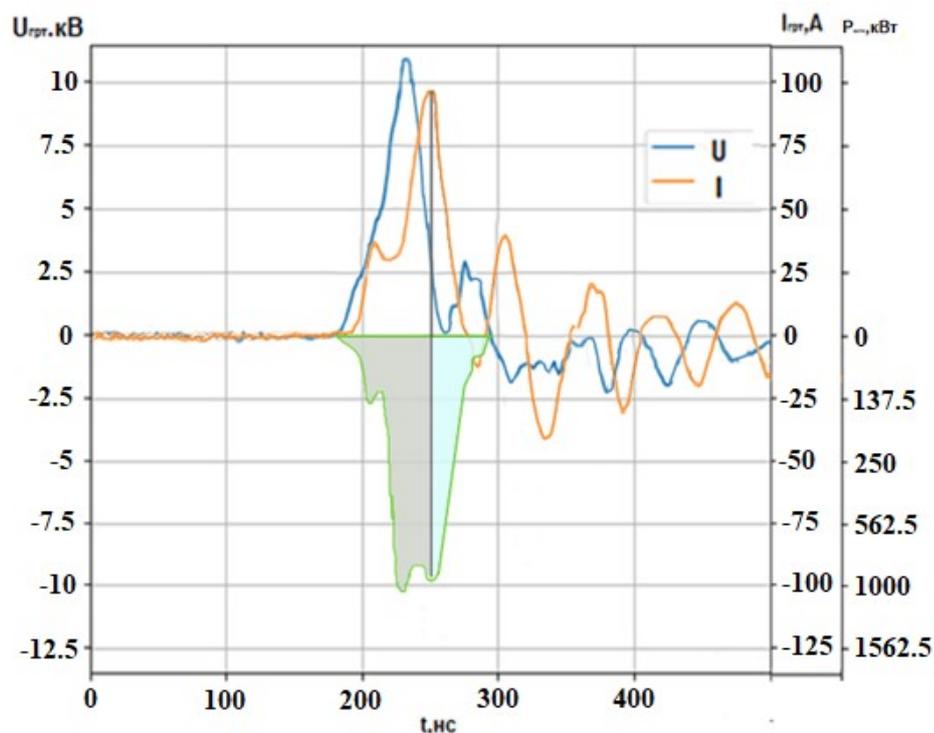


Рисунок 10 – Осциллограммы импульсов напряжения на ГРТ и тока через ГРТ, а также мгновенной мощности в случае разряда накопительного конденсатора через импульсный трансформатор и наличия обострительного конденсатора между электродами ГРТ.

Значения входного напряжения с тиратрона, характеристики разряда в ГРТ, а также оптическая мощность излучения $P_{св}$ представлены в таблице 3.4

Таблица 3.4. Данные четвертого эксперимента

| | $U_{тир}$ | $U_{грт}$ | $I_{грт}$ | C_s | $P_{св}$ | $P_{исх}$ |
|----------|-----------|-----------|-----------|---------|----------|-----------|
| Значения | 5 кВ | 12 кВ | 100 А | 1000 пФ | 0.3 Вт | 200 Вт |

Вводимую мощность в разряд рассчитаем по формуле 2.3:

$$Q_c = \frac{C_s U_c^2}{2} = 12,5 \text{ мДж}$$

Энергию разряда в ГРТ рассчитаем по формуле 2.2:

$$Q_d = \int_{t_0}^{t_1} P_{МГН} = 10 \text{ мДж}$$

Динамическое КПД лазера рассчитаем по формуле 2.1:

$$\eta_t = \frac{Q_d}{Q_c} = \frac{10}{12,5} = 80\%$$

Практическое КПД лазера рассчитаем по формуле 2.5:

$$\eta_p = \frac{P_{исх}}{P_{св}} = \frac{0,3}{200} = 0,15\%$$

Использование обостряющего конденсатора и повышающего трансформатора одновременно увеличивает крутизну переднего фронта импульса. Вместе с задержкой развития тока это обеспечивает увеличение энерговклада до начала разряда. Прирост динамического КПД в 1.6 раз, при этом практический КПД вырос в 1.5 раза.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Установка, которой посвящена данная работа, представляет собой лазер на самоограниченных переходах паров металлов и систему возбуждения данного лазера. Основная цель данной ВКР — это исследование системы возбуждения и влияние изменения ее параметров на работу установки.

Лазеры на самоограниченных переходах паров металлов являются одними из наиболее мощных и эффективных в видимой и ближней ИК областях спектра. Для лучшего из них — лазера на парах меди достигнута средняя мощность излучения около 100Вт/м и практический КПД около 3 %.

Несмотря на это, данный тип лазеров не сильно распространен в промышленности в связи с большой зависимостью от квалификации обслуживающего персонала и строгим соблюдением параметров запуска и работы. Еще большее увеличение КПД установок на основе лазера данного типа может увеличить интерес, несмотря на приведенные выше недостатки.

Ввиду большого количества уже проведенных исследований попытка модернизации газовой смеси либо оптических свойств лазера не имеет смысла, т.к. достигнут практический потолок в данных параметрах газоразрядной трубки. Однако исследования в области параметров генерации могут существенно увеличить КПД данного типа лазера.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования данных расчетов. Результат сегментирования представлены на таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка услуг по разработке и модернизации лазеров на самоограниченных переходах паров металлов.

| | | Вид услуги | | | |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---|---|--|
| | | Увеличение КПД лазерной установки | Исследование зависимости изменения параметров работы установки в зависимости от изменения параметров разрядного контура | Исследование в области миниатюризации и автоматизации работы лазерных установок | Изготовление и производство более дешевых и компактных запасных частей к лазерным установкам |
| <i>Вид заказчика</i> | НИИ | | | | |
| | Производители лазерных | | | | |
| | Потребители лазерных установок | | | | |

- Максимально заинтересованный заказчик
- Заинтересованный заказчик
- Не заинтересованный заказчик

4.1.2 Анализ конкурентных решений

В приведенном примере карты сегментирования показано, какие исследования в области лазерной техники интересуют того или иного заказчика. Очевидно, наиболее перспективным является увеличение КПД установки. Исследование параметров лазерной установки не так интересно для производителей и потребителей, однако интересно для НИИ. С другой стороны, данные исследования могут привести к увеличению КПД, что в перспективе удовлетворяет требованиям всего рынка. В качестве конкурентных решений выбраны модернизация других частей лазерной установки с целью повышения КПД: изменение газовой смеси и модернизация оптической части лазера. Экспертная оценка основных технических характеристик данных продуктов представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

| № | Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | Конкурентоспособность | | |
|---|---|--------------|-------|-----|-----|-----------------------|------|------|
| | | | Бф | Бк1 | Бк2 | Кф | К1 | К2 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | | |
| 1 | Повышение производительности труда пользователя | 0,2 | 5 | 2 | 2 | 1 | 0,4 | 0,4 |
| 2 | Удобство в эксплуатации | 0,15 | 5 | 3 | 2 | 0,75 | 0,45 | 0,3 |
| 3 | Помехоустойчивость | 0,03 | 4 | 3 | 4 | 0,12 | 0,09 | 0,12 |
| 4 | Энергоэкономичность | 0,05 | 4 | 5 | 5 | 0,2 | 0,25 | 0,2 |
| 5 | Надежность | 0,05 | 4 | 3 | 3 | 0,2 | 0,15 | 0,15 |
| 6 | Потребность в ресурсах памяти | 0,01 | 3 | 4 | 4 | 0,03 | 0,04 | 0,04 |
| 7 | Функциональная мощность (предоставляемые возможности) | 0,3 | 3 | 1 | 1 | 0,9 | 0,3 | 0,3 |
| 8 | Простота эксплуатации | 0,3 | 5 | 2 | 2 | 0,5 | 0,2 | 0,2 |
| 9 | Качество интерфейса | 0,03 | 4 | 4 | 4 | 0,12 | 0,12 | 0,12 |

Продолжение таблицы 4.2

| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | | |
|---|-----------------------------------|------|----|----|----|------------|-------------|-------------|
| 10 | Конкурентоспособность продукта | 0,01 | 5 | 2 | 2 | 0,05 | 0,02 | 0,02 |
| 11 | Уровень проникновения на рынок | 0,01 | 1 | 4 | 3 | 0,01 | 0,04 | 0,03 |
| 12 | Цена | 0,09 | 4 | 2 | 2 | 0,36 | 0,18 | 0,18 |
| 13 | Послепродажное обслуживание | 0,08 | 5 | 2 | 2 | 0,4 | 0,16 | 0,16 |
| 14 | Финансирование научной разработки | 0,04 | 5 | 5 | 4 | 0,2 | 0,2 | 0,16 |
| 15 | Срок выхода на рынок | 0,01 | 4 | 5 | 5 | 0,04 | 0,05 | 0,05 |
| | Итого | 1 | 63 | 44 | 42 | 4,6 | 2,36 | 2,19 |

Исходя из проведенного анализа можно заключить, что уязвимость конкурентных технологических решений связана, прежде всего с тем, что повышение эффективности в области оптимизации оптических резонаторов и газовой смеси ГРТ исследованы в достаточной степени, а значит для получения одинакового прироста в КПД потребуется больше ресурсов.

Преимуществом собственной разработки помимо того, что, она увеличивает выходную мощность без увеличения вводимой, можно считать то, что данная модернизация достаточно дешева и применима к лазерам различной мощности.

Также сильной стороной является то, что данная система проста в установке так как разрабатывалась в том числе и для модернизации лазерных станков на производстве.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Матрица составляется на основе анализа рынка и конкурентных

технических решений, и показывает сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы для разработки.

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. Матрица SWOT представлена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – SWOT-анализ

| | Сильные стороны: С1 – актуальность исследования; С2 – наличие близких по теме исследований; С3 – большой штат персонала; С4 – наличие установки для лабораторных испытаний. С5 – Наличие бюджетного финансирования. | Слабые стороны: Сл1 – недостаточность условий для полного рассмотрения; Сл2 – отсутствие представления о реальном рынке потребителей; Сл3 – серьезный износ оборудования; Сл4 – отсутствие массового производства для внедрения. |
|--|--|--|
| Возможности: В1 – свободный доступ; В2 – простота в освоении; В3 – наличие персонала, имеющего опыт работы с данной установкой; В4 – наличие литературы по теме исследования; | В1В4С1С2С4С5. Высокая вероятность успеха В2В3В4С1С2С3. Широкие возможности для получения консультации по работе В1С3С4. Возможность экспериментального подтверждения исследования | В1Сл2Сл3. «Оторванность» работы от реальных условий производства В2Сл2. Применимость результатов исследования для аналогичных установок другой мощности. |
| Угрозы: У1 – поломка ЭВМ; У2 – поломка лабораторного стенда; У3 – отсутствие коммерческого интереса к проекту; У4 – недостаточная точность расчетов. | У3У4С1С2. Возможность непригодности проекта. У2С2С4. Наличие штата квалифицированных сотрудников, контроль параметров работы, а также соблюдение ТБ существенно снижают вероятность поломки. | У3Сл2Сл3Сл4. Отсутствие рынка потребителей, а также производства установок такого типа снижают актуальность узконаправленных исследований. У4У2Сл3. Высокая вероятность ошибочных действий. |

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Соотношения параметров представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта

| | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
|------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Возможности проекта | B1 | + | + | 0 | + | - |
| | B2 | - | - | - | + | - |
| | B3 | - | - | + | + | 0 |
| | B4 | + | + | - | + | - |

| | | СЛ1 | СЛ2 | СЛ3 | СЛ4 |
|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| Возможности проекта | B1 | - | - | + | - |
| | B2 | - | - | - | - |
| | B3 | - | - | - | - |
| | B4 | + | - | - | - |

| | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|
| Угрозы проекта | У1 | - | - | - | - | - |
| | У2 | - | - | + | + | - |
| | У3 | + | + | - | - | + |
| | У4 | 0 | - | - | - | - |

| | | СЛ1 | СЛ2 | СЛ3 | СЛ4 |
|-------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| Угрозы проекта | У1 | - | - | - | - |
| | У2 | - | - | + | - |
| | У3 | + | + | - | + |
| | У4 | - | - | + | - |

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в табл. 4.5.

Таблица 4.5 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации.

| № п/п | Наименование | Степень проработанности научного проекта | Уровень имеющихся знаний у разработчика |
|-------|--|--|---|
| 1. | Определен имеющийся научно-технический задел | 4 | 3 |
| 2. | Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела | 3 | 3 |
| 3. | Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке | 3 | 3 |
| 4. | Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок | 3 | 4 |
| 5. | Определены авторы и осуществлена охрана их прав | 3 | 2 |
| 6. | Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности | 3 | 2 |
| 7. | Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта | 2 | 2 |
| 8. | Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки | 2 | 2 |

Продолжение таблицы 4.5

| № п/п | Наименование | Степень проработанности научного проекта | Уровень имеющихся знаний у разработчика |
|-------|---|--|---|
| 9. | Определены пути продвижения научной разработки на рынок | 3 | 2 |
| 10. | Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки | 2 | 2 |
| 11. | Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок | 2 | 2 |
| 12. | Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот | 3 | 3 |
| 13. | Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки | 4 | 2 |
| 14. | Имеется команда для коммерциализации научной разработки | 3 | 3 |
| 15. | Проработан механизм реализации научного проекта | 4 | 4 |
| | ИТОГО БАЛЛОВ | 44 | 39 |

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика лежат в диапазоне от 30 до 44, что говорит о средней перспективности проекта. Многие аспекты вывода продукта на рынок не были учтены, а также проявляется недостаток знаний. Следовательно, требуется дополнительные затраты на наём или консультации у соответствующих специалистов.

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Перспективность данного научного исследования средняя, поэтому не все аспекты рассмотрены и изучены. В работе произведены исследования работы контура возбуждения лазерной установки, однако другие части, такие как ГРТ, оптические резонаторы, источники питания на основе тиратрона были слабо изучены для организации производства. Таким образом коммерциализация путем организации предприятия не имеет смысла. Но так как результаты данного исследования увеличивают эффективность работы установок, этого достаточно для коммерциализации следующими методами: Передача интеллектуальной собственности; передача ноу-хау и инжиниринг. Т.е. возможна продажа данной технологии производителям лазерных установок, а также модернизация работающих на производстве установок.

4.2 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

4.2.1 Цели и результаты проекта

Перед определением целей необходимо перечислить заинтересованные стороны проекта. Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 4.6:

Таблица 4.6 – Заинтересованные стороны проекта

| Заинтересованные стороны проекта | Ожидание заинтересованных сторон |
|---|---|
| Научное сообщество | Проведение исследований в области лазерной техники |
| Производители лазерных установок | Увеличение КПД выпускаемой продукции |
| Потребители лазерных установок | Увеличение прибыли за счет увеличения КПД установок |
| Научный руководитель, студент | Выполненная выпускная квалификационная работа |

Цели и результат проекта представлены в таблице 4.7:

Таблица 4.7 – Цели и результат проекта

| | |
|---|---|
| Цели проекта: | Сбор нескольких конфигураций лабораторного стенда с различными модификациями разрядного контура, а также выбор наиболее эффективной конфигурации. |
| Ожидаемые результаты проекта: | Увеличение КПД лазерной установки путем модернизации разрядного контура |
| Критерии приемки результата проекта: | Успешное тестирование модернизации лазерной установки с фиксацией повышения КПД |
| Требования к результату проекта: | Требование: Проанализированы данные, полученные в ходе экспериментов, в результате которых заметно увеличение КПД лазерной установки. |

4.2.2 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта. Эту информацию представить в табличной форме (табл. 4.8).

Таблица 4.8 – Ограничения проекта

| Фактор | Ограничения |
|--|-------------------------|
| Бюджет проекта | 120 000 рублей |
| Источник финансирования | НИ ТПУ |
| Сроки проекта | 01.01.2019 – 31.05.2019 |
| Фактическая дата утверждения плана управления проектом | 12.12.2018 |
| Плановая дата завершения проекта | 31.05.2018 |

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

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

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 11 представлен шаблон иерархической структуры.



Рисунок 11 – Иерархическая структура ВКР.

В данном проекте будет использована иерархическая структура проекта, так как данная структура больше подходит для научно-исследовательской деятельности. Пример проектной структуры изображен на рисунке 11.

4.3.2 План проекта

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде табл. 4.9. с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 4.9. – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

| Код работы (из ИСР) | Вид работ | Исполнители | Т _к , ч. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------------------|-------------|---------------------|------------------------------------|---|---|-------|---|---|------|---|---|------|---|---|------|---|---|
| | | | | Янв. | | | Февр. | | | Март | | | Апр. | | | Май. | | |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | Выбор направления исследования | Р, С | 5 | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Описание требований | Р | 10 | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Патентный поиск | С | 10 | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Составление технического задания | Р | 10 | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Изучение литературы | С | 40 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 6 | Проектирование лабораторного стенда | С | 20 | | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| 7 | Сборка лабораторного стенда | С | 40 | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 8 | Настройка лабораторного стенда | С | 40 | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| 9 | Проведение экспериментов, сбор данных | С | 100 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| 10 | Анализ данных | С | 30 | | | | | | | | | | ■ | | | | | |
| 11 | Обобщение и оценка результатов | С | 20 | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| 12 | Написание документации | С | 50 | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | |
| 12 | Проверка работы | Р | 20 | | | | | | | | | | | | | | | ■ |

■ – Руководитель(Р)

■ – Студент (С)

4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

4.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3% от цены). В эту же статью включаются затраты на электроэнергию.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле (4.1):

$$C = C_{\text{эл}} F_{\text{об}} P = 5,8 * 5 * 150 = 4350 \text{ руб}, \quad (4.1)$$

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

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{\text{об}}$ – время использования оборудования, ч.

Затраты на электроэнергию составили 4350 рублей.

Результаты по данной статье заносятся в табл. 4.10.

Таблица 4.10 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты.

| Наименование | Марка, размер | Кол-во | Цена за единицу, руб. | Сумма, руб. |
|--|----------------|--------|-----------------------|-------------|
| Водород | Баллон 10л | 1 | 3500 | 3500 |
| Трансформатор силовой | | 1 | 1000 | 1000 |
| Конденсаторы керамические | 330 пФ х 10 кВ | 10 | 26 | 260 |
| Силовой коаксиальный кабель | RG-6 1.02 1м | 2 | 15 | 30 |
| Электроэнергия | кВт·ч | 150 | 5,8 | 4350 |
| Всего за материалы | | | | 9140 |
| Транспортно-заготовительные расходы (3%) | | | | 274 |
| Итого по статье C_m | | | | 9414 |

4.4.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Для исследования данной темы требуется лабораторное оборудование в виде персонального компьютера, осциллографа, программного обеспечения для анализа полученных осциллограмм, оптический датчик, щупы для осциллографа, а также источник питания разрядного контура и газоразрядная трубка. Так как все оборудование и программное обеспечение имеется в лаборатории приобретать его не нужно.

Таблица 4.11 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

| № п/п | Наименование оборудования | Кол-во единиц оборудования | Цена единицы оборудования, тыс.руб. | Общая стоимость оборудования, тыс.руб. | Амортизация - 3% от суммы |
|----------|--------------------------------|----------------------------------|---|---|---------------------------------|
| 1. | Персональный компьютер | 1 | 15 000 | 15 000 | 450 |
| 2. | Осциллограф | 1 | 120 000 | 120 000 | 3600 |
| 3. | Среда разработки Origin 8.1 | 1 | 280 000 | 280 000 | 8400 |
| 4. | Щуп осциллографический | 2 | 4500 | 9000 | 270 |
| 5. | Трубка газоразрядная | 1 | 7000 | 7000 | 210 |
| 6. | Датчик оптический | 1 | 8500 | 8500 | 255 |
| Итого | | | | | 13185 |

4.4.3 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 табл. 4.12.

Таблица 4.12 – Расчет основной заработной платы

| № п/п | Наименование этапов | Исполнители по категориям | Трудоемкость, чел.-дн. | Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб | Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб. |
|--------|---------------------|---------------------------|------------------------|--|--|
| 1 | | Руководитель | | 20000 | 20000 |
| 2 | | Магистр | | 2403 | 2403 |
| Итого: | | | | | 22403 |

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.2)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (4.3)$$

где $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (таблица 4.13);

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Значит, для руководителя:

$$Z_{осн} = 20000 \cdot 1,3 = 26000 \text{ рублей}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = (Z_{м} \cdot M) / F_{д} \quad (4.4)$$

где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб (в качестве месячного оклада магистра выступает стипендия, которая составляет 2403 руб);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 45 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6 - дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях) (табл.4.13). Тогда,

Для руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{26000 * 10,4}{254} = 1064,5 \text{ рублей}$$

Для дипломника:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{2403 * 10,4}{217} = 115,6 \text{ рублей}$$

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.13.

Таблица 5.13 – Баланс рабочего времени проекта

| Показатели рабочего времени | Руководитель | Магистр |
|--|--------------|---------|
| Календарное число дней | 151 | 151 |
| Количество нерабочих дней | | |
| - выходные дни | 40 | 60 |
| - праздничные дни | 14 | 14 |
| Потери рабочего времени | | |
| - отпуск | 14 | – |
| - невыходы по болезни | – | – |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 83 | 77 |

Таблица 4.14 – Результаты расчета основной заработной платы

| Исполнители | Z_b , руб. | k_p | Z_m , руб | $Z_{\text{дн}}$, руб. | T_p , раб. дн. | $Z_{\text{осн}}$, руб. |
|------------------------------------|-----------------|-------|----------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|
| Руководитель | 20 000 | 1.3 | 26 000 | 1064,5 | 48 | 51 096 |
| Магистр | 2403 | | 2403 | 115,6 | 77 | 8901 |
| Итого по статье $Z_{\text{осн}}$: | | | | | | 59 997 |

4.4.4 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 10% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}} \quad (4.5)$$

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

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{\text{доп}} = 0,1$);

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

Для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 51096 * 0,1 = 5109 \text{ рублей}$$

В таблице 4.15 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.15 – Заработная плата исполнителей ВКР за проект, руб

| Заработная плата | Руководитель | Магистр |
|-------------------------|--------------|---------|
| Основная зарплата | 51096 | 8901 |
| Дополнительная зарплата | 5109 | – |
| Зарплата исполнителя | 56205 | 8901 |
| Итого | 65106 | |

4.4.5 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 * (51096 + 5109) = 16861 \text{ руб.} \quad (4.6)$$

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

4.4.6 Накладные расходы

В эту статью относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах при работе на базе ТПУ накладные расходы составляют 15% от суммы предыдущих статей

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (C_{\text{об}} + C_{\text{сыр}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{внеб}}) \quad (4.7)$$

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

$$C_{\text{накл}} = 0,15 * (9414 + 13185 + 65106 + 16861) = 15685 \text{ руб.}$$

4.4.7 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. Конкурентным исследованиям необходимо закупить оборудование для экспериментов, которое оценивается примерно в 400000 по рыночным ценам. Также для этих исследований необходим штат персонала, заработная плата которого будет больше стипендии студента и оценивается примерно в 2 средних зарплаты младших научных сотрудников. Затраты на сырье и материалы примем такими же, как и у нашего исследования.

Таблица 4.16 – Бюджет затрат НИИ

| № | Затраты по статьям | | | | | | |
|---|--|--|---------------------------|---------------------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------------|
| | Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты | Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ | Основная заработная плата | Дополнительная заработная плата | Накладные расходы | Отчисления на социальные нужды | Итого бюджет исследования |
| 1 | 9414 | - | 59997 | 5109 | 15685 | 16861 | 107066 |
| 2 | 9500 | 400 000 | 80000 | 8000 | 25000 | 30000 | 552500 |

В результате было получено, что бюджет затрат НИИ составит 107066 руб. При этом затраты у конкурентов составляют 552500 рублей, из чего можно сделать вывод что данное исследование будет экономичней, чем у конкурентов. Это объясняется тем, что исследование проводится на базе ТПУ, и нет необходимости закупать дорогостоящее оборудование, которое имеется в его лабораториях.

4.5 Организационная структура проекта

На практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная.

Для выбора наиболее подходящей организационной структуры можно использовать табл. 4.17.

Таблица 4.17 – Выбор организационной структуры научного проекта

| Критерии выбора | Функциональная | Матричная | Проектная |
|---|-----------------------|------------------|------------------|
| Степень неопределенности условий реализации проекта | Низкая | Высокая | Высокая |
| Технология проекта | Стандартная | Сложная | Новая |
| Сложность проекта | Низкая | Средняя | Высокая |
| Взаимозависимость между отдельными частями проекта | Низкая | Средняя | Высокая |
| Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ) | Низкая | Средняя | Высокая |
| Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня | Высокая | Средняя | Низкая |

В данном случае выбор лежит к проектной структуре проекта из-за особенностей разработки. Составляющая проекта является модульные системы, работающие в постоянном взаимодействии с другими модулями. Также основной причиной выбора проектной структуры является то, что технология проекта является новой, и имеются ограниченные сроки реализации.

4.6 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со

стороны участников проекта. Пример плана управления коммуникациями приведен в табл. 4.18.

Таблица 4.18 – Пример плана управления коммуникациями

| № п/п | Какая информация передается | Кто передает информацию | Кому передается информация | Когда передает информацию |
|--------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| 1. | Статус проекта | Руководитель проекта | Представителю заказчика | Ежеквартально (первая декада квартала) |
| 2. | Обмен информацией о текущем состоянии проекта | Исполнитель проекта | Участникам проекта | Еженедельно (пятница) |
| 3. | Документы и информация по проекту | Ответственное лицо по направлению | Руководителю проекта | Не позже сроков графиков и к. точек |
| 4. | О выполнении контрольной точки | Исполнитель проекта | Руководителю проекта | Не позже дня контрольного события по плану управления |

4.6.1 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу (табл. 4.19).

Таблица 4.19 – Реестр рисков

| № | Риск | Вероятность наступления (1-5) | Влияние риска (1-5) | Уровень риска* | Способы смягчения риска | Условия наступления |
|---|---|-------------------------------|---------------------|----------------|---|--|
| 1 | Выход из строя стенда | 4 | 5 | высокий | Соблюдение инструкций по работе с газоразрядной трубкой (ГРТ) | Внезапное отключение электричества, скачок напряжение, выход из строя питающего тиратрона, неверная последовательность действий при включении/отключении ГРТ |
| 2 | Результат исследования не позволяет сделать объективных выводов об эффективности такой модернизации | 4 | 5 | высокий | Несколько вариантов модернизации | Малое количество исследований по данной теме, отсутствие возможности компьютерного моделирования |
| 3 | Появление технологии позволяющей отказаться от использования CuVr лазеров | 1 | 4 | низкий | Данные исследования не сильно зависят от коммерческого потенциала | Появление прорывной технологии, позволяющей полностью заменить лазеры на парах металлов на более дешевые и эффективные аналоги |

Продолжение таблицы 4.19

| | | | | | | |
|---|----------------------------------|---|---|---------|--|---|
| 4 | Снижение финансирования | 1 | 5 | средней | Исследования проводятся на базе ТПУ и не требуют больших материальных вложений | Снижение интереса к исследованию лазеров данного типа |
| 5 | Отсутствие интереса у заказчиков | 4 | 2 | низкой | Данные исследования имеют не только коммерческую ценность, но и научную | Интеграция лазеров данного типа в производство связана с рядом проблем, что делает их использование малоэффективным |

4.7 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (4.8)$$

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

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

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

Сравнение проводилось с предполагаемым аналогом исследования, бюджет которого составил 552500 руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{107066}{552500} = 0,193 \quad (4.9)$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает удешевление стоимости разработки. Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (таблица 4.21).

Таблица 4.21 – Сравнительная оценка характеристик исполнения проекта

| Критерии | Объект исследования | | |
|--|-------------------------------|--------|-------|
| | Весовой коэффициент параметра | Исп. 1 | Исп.2 |
| Способствует росту производительности труда пользователя | 0,25 | 5 | 5 |
| Удобство в эксплуатации | 0,1 | 4 | 5 |
| Унифицированность | 0,05 | 2 | 3 |
| Безопасность | 0,2 | 4 | 5 |
| Критерии | Объект исследования | | |
| | Весовой коэффициент параметра | Исп. 1 | Исп.2 |
| Надежность | 0,25 | 4 | 4 |
| Перспективность | 0,15 | 3 | 4 |
| Итого | 1 | | |

$$I_{\text{р-исп1}} = 5 * 0,25 + 4 * 0,1 + 2 * 0,05 + 4 * 0,2 + 4 * 0,25 + 3 * 0,15 = 4$$

$$I_{p-исп2} = 5 * 0,25 + 5 * 0,1 + 3 * 0,05 + 5 * 0,2 + 4 * 0,25 + 4 * 0,15 = 4,5$$

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле (20):

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}}; I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} \text{ и т. д.} \quad (4.10)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 4.22) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} \quad (4.11)$$

Таблица 4.22 – Эффективность разработки

| № п/п | Показатели | Исп. 1 | Исп. 2 |
|-------|--|--------|--------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки | 1 | 0,57 |
| 2 | Интегральный показатель эффективности разработки | 4 | 4,5 |
| № п/п | Показатели | Исп. 1 | Исп. 2 |
| 3 | Интегральный показатель эффективности | 4 | 7,9 |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения | 0,5 | 1,975 |

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Таким образом, вариант, приведенный в исследовании, является наиболее эффективным.

5. Социальная ответственность

Объектом исследования является лазерная установка на парах CuBr. Исследования проводятся на экспериментальном стенде. В ходе экспериментальной работы со стендом проводятся измерения электрических сигналов при помощи осциллографа и импульсных высоковольтных делителей, а также мощность излучения лазера при помощи оптического датчика.

Целью данного раздела является анализ и оценка вредных и опасных факторов, которые могут оказать воздействие на персонал, занимающийся проведением исследований на экспериментальном стенде. Также рассмотрены вопросы, касающиеся непосредственно техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даны рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

В соответствии с Трудовым Кодексом РФ и правовыми нормами обеспечения безопасности предусмотрена рациональная организация труда в течение смены, которая предусматривает:

- длительность рабочей смены не более 8 часов;
- установление двух регламентируемых перерывов (не менее 20 минут после 1-2 часов работы, не менее 30 минут после 2 часов работы);
- обеденный перерыв не менее 40 минут.

При приеме на работу обязательный медицинский осмотр и периодический во время работы.

Каждый сотрудник должен пройти инструктаж по технике безопасности перед приемом на работу, и в дальнейшем должен быть пройден инструктаж по

электробезопасности и охране труда.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Помимо работ непосредственно с экспериментальным стендом, где персонал проводит лишь малую часть своего рабочего времени, в его обязанности входит работа за компьютером, связанная с обработкой экспериментальных данных и написанием статей.

При размещении рабочих мест с компьютерами расстояние между рабочими столами с мониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора), должно быть не менее 2 м, а расстояние между боковыми поверхностями мониторов - не менее 1,2 м.

Рабочие места с ПК при выполнении работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой (1,5-2) м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы.

При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики.

Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5-0,7. Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки.

Компьютер широко применяется в офисе, в производстве. Применение компьютерных технологий принципиально изменило характер труда офисных работников и требования к организации и охране труда. Несоблюдение требований безопасности при работе за компьютером приводит к дискомфорту работников: возникают головные боли и резь в глазах, появляются усталость и раздражительность. Может нарушаться сон, ухудшается зрение, начинают болеть руки, шея, поясница, что приводит в конечном итоге к понижению качества и эффективности работы работника, и, как следствие, всего предприятия.

К требованиям работы за компьютером можно отнести:

- использование комбинированного рабочего времени, т.е. совмещение работы письменного характера и работы за компьютером (если основная часть работы проходит за компьютером);
- использование ПЭВМ исключительно в рабочих целях;
- содержание рабочего стола с компьютером в порядке для наиболее комфортной работы за ним;
- выполнение ряда специальных упражнений для глаз во время регламентированного перерыва.

5.1.3 Нормирование лазерного излучения

Основными нормативными правовыми актами при оценке условий труда являются:

- "Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров" № 2392-81;

- Методические рекомендации "Гигиена труда при работе с лазерами", утвержденные МЗ РСФСР 27.04.81 г.;

- ГОСТ 24713-81 "Методы измерений параметров лазерного излучения. Классификация";

- ГОСТ 24714-81 "Лазеры. Методы измерения параметров излучения. Общие положения";

- ГОСТ 12.1.040-83 "Лазерная безопасность. Общие положения";

- ГОСТ 12.1.031-81 "Лазеры. Методы дозиметрического контроля лазерного излучения".

Предупреждение поражений лазерным излучением включает систему мер инженерно-технического, планировочного, организационного, санитарно-гигиенического характера.

При размещении в одном помещении нескольких лазеров следует исключить возможность взаимного облучения операторов, работающих на различных установках. Не допускаются в помещения, где размещены лазеры, лица, не имеющие отношения к их эксплуатации. Запрещается визуальная юстировка лазеров без средств защиты.

Для удаления возможных токсических газов, паров и пыли оборудуется приточно-вытяжная вентиляция с механическим побуждением. Для защиты от шума принимаются соответствующие меры звукоизоляции установок, звукопоглощения и др.

К индивидуальным средствам защиты, обеспечивающим безопасные условия труда при работе с лазерами, относятся специальные очки, щитки, маски, обеспечивающие снижение облучения глаз до ПДУ.

Средства индивидуальной защиты применяются только в том случае, когда коллективные средства защиты не позволяют обеспечить требования санитарных правил.

5.2 Профессиональная социальная безопасность

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследования

В ходе анализа экспериментального стенда и режимов его работы, были выявлены опасные и вредные факторы, которые представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 Опасные и вредные факторы при проведении работ с экспериментальным стендом.

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) | Этапы работ | | | Нормативные документы |
|---|-------------|--------------|--------------|---|
| | Разработка | Изготовление | Эксплуатация | |
| 1) Отклонение показателя микроклимата в помещении | + | + | + | 1) СанПиН 2.2.4-548-96; 2) ГОСТ 12.1.005-88. Параметры микроклимата; 3) СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение; |
| 2) Недостаток освещённости рабочей зоны | + | + | + | |
| 3) Умственное перенапряжение | + | + | + | |
| 4) Повышенное содержание озона в воздухе | + | + | + | 4) ГН 2.1.6.695-98. Нормы содержания озона в воздухе рабочей зоны; |
| 5) Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека | + | + | + | 5) ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. |
| 6) Лазерное излучение (прямое, рассеянное, зеркальное или диффузно отраженное) | + | + | + | 6) ГОСТ 12.1.040-83 ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения. |

5.2.2 Отклонение параметров микроклимата в помещении

Работа с рассматриваемым стендом относится к легкой I-б. Оптимальные условия микроклимата в производственных помещениях - это такие условия, при которых человек чувствует себя комфортно в течение рабочей смены. Ниже показаны оптимальные величины показателей для микроклимата в холодный и теплый период года для группы 1б, согласно СанПиН 2.2.4.548-96:

Оптимальная температура в теплое время года составляет 22-24С, а в холодное 21-23С;

Относительная влажность воздуха 40-60% вне зависимости от времени года, допускается 70% в холодное время года;

Скорость движения воздушных потоков в холодное время года составляет 0,1 м/с; в теплое время года – 0,2м/с.

Для создания благоприятного микроклимата, необходимо использовать водяное отопление с применением радиаторов, а также систему кондиционирования рабочего помещения.

5.2.3 Недостаток освещенности рабочей зоны

Значение хорошей освещенности для человеческого отдыха или работы трудно переоценить. Правильное рассчитанное и подобранное освещение очень сильно влияет на трудовую деятельность работника, обеспечивая высокий уровень работоспособности и психического состояния. Не правильно подобранное освещение создает тени на рабочем месте, формы объектов могут искажаться, в итоге зрение напрягается, появляется усталость и падает производительность труда.

Требования к освещенности производственных помещений представлены в таблице 5.2.(СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03).

Таблица 5.2. – Требования к освещенности рабочего помещения.

| Помещение | Рабочая поверхность нормирования КоэфЕстествОсв (Г-горизонтальная, В-вертикальная) , высота поверхности над полом, м | Естественное освещение | | Совмещенное освещение | | Искусственное освещение | | |
|--|--|--|------------------|--------------------------------------|------------------|-------------------------------|----------------|---------------------|
| | | КЕО e_n , % | | КЕО e_n , % | | Освещенность, люмен | | |
| | | При освещении вверху и комбинированном | Освещение с боку | Освещение сверху или комбинированное | Освещение с боку | При комбинированном освещении | | При общем освещении |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 итого | 8 от общего | |
| Конструкторские и проектные организации, научно-исследовательские учреждения | | | | | | | | |
| Лаборатории научно-технические отделы | Г - 0,8 | 3,5 | 1,2 | 2,1 | 0,7 | 500 | 300 | - |

Исходя из СанПиН 2.2.4.548–96 [18], в лаборатории где происходят электротехнические исследования при нахождении людей в помещении с комбинированным освещением, яркость света должна быть не ниже 500 люмен.

Вывод:

В лаборатории, где проводились исследования, освещенности достаточно. На всю стену вставлено окно, через которое проникает дневной свет, кроме этого установлены лампы люминесцентные Osram L 36W/765 T8 G13.

5.2.4 Умственное перенапряжение

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03)[19].

Существуют следующие меры по снижению влияния монотонности:

- необходимо применять оптимальные режимы труда и отдыха в течение рабочего дня;
- соблюдать эстетичность производства.

Режим рабочего времени должен предусматривать продолжительность рабочей недели (пятидневная с двумя выходными днями, шестидневная с одним выходным днем, рабочая неделя с предоставлением выходных дней по скользящему графику, неполная рабочая неделя), работу с ненормированным рабочим днем для отдельных категорий работников, продолжительность ежедневной работы (смены), в том числе неполного рабочего дня (смены), время начала и окончания работы, время перерывов в работе, число смен в сутки, чередование рабочих и нерабочих дней, которые устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права, коллективным договором, соглашениями, а для работников, режим рабочего времени которых отличается от общих правил, установленных у данного работодателя, - трудовым договором. [25]

Для уменьшения физических нагрузок организма во время работы рекомендуется использовать специальную мебель с возможностью регулировки под конкретные антропометрические данные, например, эргономичное кресло.

5.2.5 Повышенное содержание озона в воздухе

В процессе работы стенда, некоторые металлические части находятся под высоким напряжением. В результате разрядных явлений на поверхности металлов, происходит генерация молекул озона.

Высокая окисляющая способность озона и образование во многих реакциях с его участием свободных радикалов кислорода определяют его высокую токсичность. Воздействие озона на организм может приводить к преждевременной смерти.

Наиболее опасное воздействие высоких концентраций озона в воздухе:

- на органы дыхания прямым раздражением;
- на холестерин в крови человека с образованием нерастворимых форм, приводящим к атеросклерозу;

- на органы размножения у самцов всех видов животных, в том числе и человека (вдыхание этого газа убивает мужские половые клетки и препятствует их образованию). При долгом нахождении в среде с повышенной концентрацией этот газ может стать причиной мужского бесплодия.

Озон в Российской Федерации отнесён к первому, самому высокому классу опасности вредных веществ в соответствии с ГН 2.1.6.695-98. Нормативы по озону:

- предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны 0,1 мг/м³.

При этом, порог человеческого обоняния приближённо равен 0,01 мг/м³.

Необходимым мероприятием для устранения воздействия данного фактора на персонал является вытяжная вентиляция рабочего помещения

5.2.6 Лазерное излучение: прямое, зеркальное отраженное, диффузное отражение

При использовании лазеров в технологических, экспериментальных, медицинских и других установках они классифицируются по уровням лазерного

излучения в сравнении их с предельно допустимым уровнем, расчетным методом или непосредственным измерением в рабочей зоне.

По степени опасности генерируемого излучения лазеры (лазерные установки) подразделяются на четыре класса.

Выходное излучение не представляет опасности для глаз и кожи лазеры (лазерные установки) 1-го класса.

Выходное излучение представляет опасность при облучении глаз прямым или зеркально отраженным излучением - лазеры (лазерные установки) 2-го класса.

Выходное излучение представляет опасность при облучении глаз прямым, зеркально отраженным, а также диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от диффузно отражающей поверхности, и (или) при облучении кожи прямым и зеркально отраженным излучением - лазеры (лазерные установки) 3-го класса.

Выходное излучение представляет опасность при облучении кожи диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от диффузно отражающей поверхности - лазеры (лазерные установки) 4-го класса.[21]

Опасные и вредные производственные факторы, которые могут иметь место при эксплуатации лазеров 1-4-го классов, приведены в таблице 5.3. [21]

Таблица 5.3. Опасные и вредные производственные факторы

| Опасные и вредные производственные факторы | Класс лазера | | | |
|--|--------------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Лазерное излучение: прямое, зеркальное отраженное диффузное отражение | - | + | + | + |
| Повышенный уровень ультрафиолетовой радиации | - | - | + | + |

В данной работе исследуется лазер I класса, у которого уровень ультрафиолетовой радиации не превышает норм, установленных нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Выходное излучение также не

представляет опасности для глаз и кожи при соблюдении техники безопасности работы с ним (таблица 5.3).

К организационным защитным мероприятиям относятся:

- организация рабочих мест с определением всех необходимых защитных мероприятий и учетом специфики конкретных обстоятельств использования лазерных установок;
- обучение персонала и контроль знаний правил техники безопасности;
- организация медицинского контроля и т.д.

Технические мероприятия и средства защиты подразделяются на коллективные и индивидуальные. Коллективные включают в себя:

- средства нормализации внешней среды (контроль интенсивности ЭМП, ионизирующего излучения и наличие токсичных веществ.);
- автоматические системы управления технологическим процессом;
- использование предохранительных устройств, приборов, различных ограждений лазерно-опасной зоны;
- использование телеметрических и телевизионных систем наблюдения;
- применение заземления, зануления, блокировки и т.д.

К средствам индивидуальной защиты от лазерного излучения относят:

- средства защиты глаз и лица: защитные очки, щитки, насадки;
- средства защиты рук;
- специальную одежду.

5.2.7 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Степень опасного воздействия на человека электрического тока зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути прохождения тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека;

- условий внешней среды.

В основе работы экспериментального стенда лежит процесс разрядки накопительной емкости через исследуемый тиратрон на газоразрядную трубку. Напряжение, до которого заряжается емкость, может достигать 10 кВ. Кроме того, в работе стенда есть источник напряжения до 2 кВ для питания вспомогательного разряда узла запуска.

Электрический ток высокого напряжения оказывает на человека термическое воздействие, вызывает сбои в работе сердца, вплоть до его остановки. Удар током может вызвать сбой в работе нервной системы, например, беспорядочные сокращения мышц. Острая электротравма может стать причиной нарастающей асистолии.

Основными мероприятиями по защите от электропоражения являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей путем использования изоляции в корпусах оборудования;
- применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;
- защитного заземления;
- защитного зануления;
- защитного отключения;
- использование устройств бесперебойного питания.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

5.3 Экологическая безопасность

При разработке, исследовании, хранении, эксплуатации и утилизации прибора не происходит загрязняющих выбросов в окружающую среду.

Проведение экспериментов над исследуемой лазерной установкой не представляет угрозы окружающей среде, поскольку не происходит выбросов вредных веществ в атмосферу, гидросферу и литосферу.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований

Наиболее вероятной ЧС, которая может возникнуть в процессе проведения экспериментов – пожар. Кроме того, ЧС может возникнуть при стихийных явлениях и техногенных авариях.

Общие требования к пожарной безопасности даны в ГОСТ 12.1.004[24]. В соответствии с общесоюзными нормами технологического проектирования все производственные здания и помещения по взрывопожарной опасности подразделяются на категории А, Б, В, Г и Д.

Лаборатория, в которой проводятся эксперименты, по взрывопожароопасности подходит под категорию В. Горючими компонентами в кабинете являются: изоляция кабелей, расходные материалы для печатной техники, мебель.

5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Мероприятия по пожарной профилактике:

- организационные: правильная эксплуатация оборудования, правильное содержание зданий, территории, противопожарный инструктаж рабочих и служащих;
- технические: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- режимные: запрещение курения в неустановленных местах, производства электросварочных работ в пожароопасных помещениях;
- эксплуатационные: своевременные профилактические осмотры, ремонты, и

испытания.

В связи с наличием в помещении электроустановок под напряжением рекомендуется применять углекислотные огнетушители.

Здание оснащено автоматическим средством обнаружения пожара – пожарной сигнализацией. В кабинете размещено первичное средство пожаротушения: ручной огнетушитель типа ОУ-3 – предназначенный для тушения пожаров различных типов, которые получили широкое распространение.

Степень огнестойкости здания, а также конструктивная и функциональная пожарная опасность регламентирует СНиП 21-01-97. Здание, в котором расположено исследуемое помещение, выполнено из огнестойких материалов – кирпича и бетона. При проектировании этого здания предусмотрены пути эвакуации работников в случае пожара.

В случае внезапного возгорания ни в коем случае нельзя паниковать, необходимо сразу принимать оперативные действия:

- необходимо обесточить сеть, питающую прибор;
- изолировать источник возгорания;
- закрыть форточки (чтобы не возникал сквозняк, который может усилить процесс горения);
- устранить источник возгорания при помощи огнетушителя, вызвать пожарную часть.

В случае если нет возможности устранить источник возгорания самостоятельно, необходимо, по возможности, изолировать источник возгорания, вызвать пожарную часть, эвакуироваться.

Заключение

В работе были произведены испытания модернизированного разрядного контура CuBr лазера. Использование импульсного автотрансформатора, позволяет увеличить крутизну переднего фронта импульса генерации, что увеличивает энерговклад в среду до начала импульса генерации практически в 2 раза. При этом происходит некоторое снижение общего энерговклада в среду. Без использования обострительного конденсатора значительного повышения мощности генерации не наблюдалось, несмотря на увеличение энерговклада, амплитуды импульса напряжения и скорости нарастания тока через ГРТ.

Включение в контур обострительного конденсатора позволяет обеспечить задержку развития тока через ГРТ. Это приводит к небольшому увеличению времени накачки и полезной энергии, вносимой в разряд. В совокупности с увеличением энерговклада до начала импульса генерации за счет использования импульсного автотрансформатора достигается увеличение эффективности возбуждения лазера.

На основе экспериментальных данных можно сделать вывод, что наиболее эффективным является совместное использование данных модификаций. Такая конфигурация позволила увеличить динамический КПД лазера с ~44% до ~80%, а практический КПД с 0,09% до 0,15%.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были решены все поставленные задачи:

- Определены основные потребители результатов проекта
- Проведен SWOT- анализ проекта
- Проведена оценка научно-технического уровня проекта и определено, что данный проект имеет высокую значимость теоретического и практического уровня.
- Осуществлено планирование работ в рамках НТИ. Ожидаемое время реализации исследования составляет 77 рабочих дней.
- Составлена смета НТИ. Общие расходы составили 107 066 рублей. Стоимость материальных затрат, необходимых для проведения НТИ, при этом

составила 9 414 рублей. Расходы на заработную плату персонала с учетом страховых отчислений составляют 97 652 рубля.

В разделе социальной ответственности сформированы рекомендации к обеспечению безопасной работы студента на ПЭВМ и лабораторном стенде, включающие защиту от вредных и опасных факторов. Произведен анализ экологической безопасности и определены мероприятия по предотвращению ЧС разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

Список литературы

1. Наука и жизнь [Электронный ресурс]// nkj.ru : Ядерный синтез в лазерной искре. URL:<https://www.nkj.ru/archive/articles/2545/> (Дата обращения 14.04.19)
2. Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс]// bigenc.ru : Газовый лазер. URL: <https://bigenc.ru/physics/text/2339857> (Дата обращения 14.04.19)
3. Межотраслевая Интернет-система поиска и синтеза физических принципов действия преобразователей энергии [Электронный ресурс]// heuristic.su : Газовый лазер. URL: <http://www.heuristic.su/effects/catalog/tech/byId/description/987/index.html>
4. Земсков Л.И., Исаев А.А., Казарян М.А., Петраш Г.Г., Раутиан С.Г., Эффективный импульсный лазер на парах меди с высокой средней мощностью, Квантовая электроника, т.1, с.863-869, (1974).
5. Звелто О. Принципы лазеров: Пер. с англ.— 3-е перераб. и доп. изд. — М.: Мир, 1990. — 560 с
6. М.В. Тригуб, В.В. Власов, Д.В. Шиянов, В.Б. Суханов, В.О. Троицкий. Повышение эффективности возбуждения CuBr лазера за счет модификации разрядного контура // Оптика атмосф. и океана. 2017 Т.30, N12 С. 1069-1072.
7. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов — 1. В 2 т. Т. 1 / Под ред. В. М. Батенина. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 544 с. —ISBN 978-5-9221-1085-2.
8. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов — 2. В 2 т. Т. 1 / Под ред. В. М. Батенина. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 544 с. —ISBN 978-5-9221-1085-3.
9. Лябин Н.А., Чурсин А.Д., Угольников С.А., Королева М.Е., Казарян М.А. Разработка, производство и применение отпаянных лазеров на парах меди и золота // Квантовая электроника. 2001. - Т.31. - №3. - С. 191-202
10. Мальцев А.Н. Кинетика импульсно-периодической генерации лазера на парах меди // Препринт ИОА №1. Томск. -1982. - 40 с.

11. Солдатов А.Н., Соломонов В.И. Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов. Новосибирск.: Наука, 1985. - 152 с.
12. Григорьянц А.Г., Казарян М.А., Лябин Н.А. Лазеры на парах меди. Москва: Физматлит, 2005. - 312 с.
13. Райзер Ю.П. Физика газового разряда: Учеб. руководство: Для вузов 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1992. - 536 с.
14. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
15. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) [Электронный ресурс] : учебник для бакалавров / С. В. Белов. — 4-е изд. — Мультимедиа ресурсы (10 директорий; 100 файлов; 740МВ). — Москва: Юрайт, 2013. Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2013/FN/fn-2440.pdf>
16. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 4 с.
17. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [Электронный ресурс] : Постановление Госкомсанэпиднадзора России от 1 октября 1996 г. N 21 // Документ опубликован не был. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
18. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы: Постановление Главного государственного санитарного врача от 13 июня 2003 г. N 118 // Российская газ. – 2003. – N 120.
19. ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов от 30 июня 1982 г. N 2987.Изд-во стандартов, 2003. – 6 с.
20. ГОСТ 12.1.040-83. Лазерная безопасность от 31 января 1983 г. N 560.Изд-во стандартов, 2001. – 5 с.
21. Лабораторный практикум по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей: учебное пособие / Ю.А. Амелькович, Ю.В. Анищенко, А.Н. Вторушина, М.В. Гуляев, М.Э. Гусельников,

А.Г. Дашковский, Т.А. Задорожная, В.Н. Извеков, А.Г. Кагиров, К.М. Костырев, В.Ф. Панин, А.М. Плахов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 236 с.

22. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартинформ, 2010. – 28 с.

23. Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р 12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность Изд-во стандартов, 1996. – 24 с.

24. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ Изд-во стандартов, 2001. – 230 с.

Приложение I

Enhancement of pumping efficiency of a CuBr laser by means of modification of the discharge circuit.

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|------------------------|---------|------|
| 4НМ71 | Веселый Иван Андреевич | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------|------------------------|---------|------|
| доцент | Тригуб Максим Викторович | К.Т.Н. | | |

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------------|---------------------------------|---------|------|
| Доцент | Аксёнова Наталия Валерьевна | кандидат филологических наук | | |

Literature Review

1.1 Gas laser general work principle

Gas laser (G. l.) is a laser with an active medium in the form of gases, metals vapors and their compounds. The tube with an active medium is placed in an optical resonator, consisting in the simplest case of two parallel mirrors, one of them is a semi-transparent one.

To create conditions of forced emission, it is necessary to ensure population inversion. According to working transitions type, lasers on atomic and ion transitions, molecular lasers, and excimer lasers are distinguished. Then, the primary photon is emitted by an external force. The light wave, emitted in any place of the tube as it propagates through the gas, is amplified due to forced emissions, which generates a photons avalanche. Having reached the semi-transparent mirror, the wave partially passes through it. This part of the received light energy is radiated by G. l. The other part is reflected from the mirror and gives rise to a new photons avalanche. A photon created by electron transition to a lower energy level is identical in frequency, phase and direction of propagation to the photon that initially knocked out this electron. Due to this, the laser radiation can have extremely large monochromaticity, power and sharp directivity.

First G. l. was created in the USA in 1960 by A. Javan. Existing G. l. work in a wide range of frequencies. Wavelengths range from ultraviolet radiation to infrared. Such lasers can operate both in pulsed and in continuous mode.

In radiation G. l. The characteristic properties of laser radiation are most pronounced — high directivity and monochromaticity. A significant advantage is their ability to work in continuous mode. The use of new methods of excitation and the transition to higher gas pressures can dramatically increase the capacity of G. l. With the help of G. l. further exploration of the far infrared range, ultraviolet and x-ray radiation ranges is possible. [2]

1.2 Features of gases as laser materials

Compared to solids and liquids, gases have significantly lower density and higher homogeneity. Therefore, the light beam in the gas is practically not distorted, not scattered and does not experience energy loss. In such lasers it is relatively easy to excite only one type of electromagnetic waves (one mode). As a result, the directivity of laser radiation increases sharply, reaching the limit due to diffraction of light. Divergence of a light beam of G. of l. invisible light region is 10^{-5} - 10^{-4} *grad*, and in infrared is 10^{-4} - 10^3 *grad*. [3]

In contrast to solids and liquids, constituent gas particles (atoms, molecules or ions) interact with each other only during collisions in the process of thermal motion. This interaction has little effect on particle energy levels arrangement. Therefore, the energy spectrum of gas corresponds to energy levels of individual particles. Spectral lines corresponding to particles transitions from one energy level to another are slightly broadened in gas. The narrowness of spectral lines in gas leads to the fact that there are few resonator modes in the line.

On the other hand, gases low density prevents the production of a high concentration of excited particles. Therefore, the densities of the generated energy in G. l. are significantly lower than solid-state lasers.

1.3 Creating an active gas environment in gas-discharge lasers.

Active environment G. l. is a set of excited gas particles (atoms, molecules, ions) with population inversion. It means that the number of particles that “inhabit” higher energy levels is greater than the number of particles that are at lower energy levels. Under normal conditions of thermal equilibrium, the population of lower levels is larger than the higher one, therefore, necessary conditions must be created for population inversion appearance. In case of population inversion, photons forced emissions with energy $hn = E_u - E_b$, accompanying particles forced upper level E_u on the bottom E_b , transition of upper level E_u on the bottom E_b , prevail over photons absorption. As a result, the active gas can generate electromagnetic frequency radiation.

$$\nu = \frac{E_u - E_b}{h} \quad (1.2)$$

where h is Planck constant,

ν is radiation frequency.

or with a wavelength

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (1.3)$$

where c is the speed of light in vacuum

λ is wavelength.

One of gas features (or a mixture of gases) is a variety of physical processes leading to its excitation and the creation of population inversion in it. The excitation of the active medium by the radiation of gas-discharge lamps, which has found a wide application in solid-state and liquid lasers, is ineffective for obtaining population inversion in a global laser system, since gases have narrow absorption lines, and lamps emit light in a wide range of wavelengths. As a result, only an insignificant part of the pump source power can be used. Overwhelmingly G. I. population inversion is created in an electric discharge (gas-discharge lasers). The electrons produced in the discharge in collisions with gas particles (electron impact) excite them, translating to higher levels of energy. Stable population inversion is created if particles lifetime at upper energy level is longer than at the lower one. Atoms and molecules excitation by electron impact is the most developed method for obtaining population inversion in gases. The method of electron impact is applicable to the excitation of G. I. both in continuous and pulsed modes.

Electron impact excitation is successfully combined with another excitation mechanism — energy transfer necessary for particles excitation of one kind from particles of another type in inelastic collisions (resonant transfer of excitation). Such a transfer is very effective when the energy levels of different types of particles coincide.

In these cases, the creation of the active medium occurs in two stages: firstly, electrons excite auxiliary gas particles, then these particles in the process of inelastic collisions with the particles of the working gas, transfer energy to them. As a result, the

upper laser level is populated. In order for energy to accumulate well, the upper energy level of the auxiliary gas must have a large proper lifetime. [3]

1.4 Copper vapor laser.

Copper vapor laser (CVL) is a highly efficient G.l. in which for the generation of radiation in the visible region of the spectrum, the transitions of atoms of metals from resonant to metastable levels are used. The main advantages of CVL are the possibilities of high-speed packet and pulse modulation, radiation power control, high reliability and quality. Therefore, CVL is widely used in industrial and medical technologies. The wide possibilities of using pulsed radiation of CVL represent a good prospect for its further development as a tool for micromachining metal and nonmetallic materials for the electronics industry, precision instrument making, and as a medical tool for the treatment of cancer and non-oncological diseases, dermatology and cosmetology. CVLs are also used in the technology of laser isotope separation, spectroscopic analysis of the composition of substances, and sounding of the atmosphere.

CVL emits two spectral lines: green with a wavelength of 510 nm and yellow with a wavelength of 578 nm. This radiation is emitted by excited copper atoms when they are transferred from a resonant state (the excitation energy is about 3.8eV) to metastable states (excitation energy is 1.39 eV and 1.64 eV, respectively).

Figure 1 shows the energy levels of two of the most important lasers of this category — copper and gold vapor lasers — involved in the generation process. In terms of electronic configuration, the levels of Cu and Au are very similar. Therefore, in the future, only the copper atom will be considered. The ground state of the $2S_{1/2}$ copper atom corresponds to the configuration of $3d^{10}4s^2$. When the outer 4s electron is thrown onto the next, higher 4p level, the excited levels $2P_{1/2}$ and $2P_{3/2}$ are populated. These levels are strongly associated with the ground state of the dipole allowed transition. Levels $2D_{3/2}$ and $2D_{5/2}$ correspond to the configuration $3d^94s^2$, which has a lower energy, and transitions $2D \rightarrow 2P_{1/2}$ dipole prohibited. Copper atoms from the 2p state are fast (the lifetime is about 7 ns) relax by means of spontaneous radiation to the ground state $2S_{1/2}$, while the

relaxation time of the 2D levels is much longer (about 0.5 μ s), because this transition is poorly allowed. However, at temperatures that are used in copper ($T = 1500^\circ\text{C}$) and gold ($T = 1650^\circ\text{C}$, because gold is a less corrosive substance) lasers, the vapor pressure is quite high (~ 0.1 mm Hg), so that, due to the capture of radiation, there is no relaxation along the $2p \rightarrow 2S_{1/2}$ channel. Thus, the only effective relaxation channel passes through the 2D state. Relaxation of the population of the 2D level is carried out by decontamination on the walls, if the internal diameter of the tube is small (less than 2 cm). For large tubes, it was shown that the superelastic collision $e + \text{Cu}(2D) \rightarrow e + \text{Cu}(2S_{1/2})$ plays an important role. In both cases, the corresponding relaxation time is very long (several tens of microseconds).

Therefore, generation on copper vapor can be carried out both at $2P_{3/2} \rightarrow 2D_{5/2}$ (green) and at $2P_{1/2} \rightarrow 2D_{3/2}$ (yellow). Gold generation in pairs occurs mainly at red transition ($2P_{1/2} \rightarrow 2D_{3/2}$), since the UV transition ($2P_{3/2} \rightarrow 2D_{5/2}$) ends at $2D_{5/2}$, which is, to a great extent, populated.

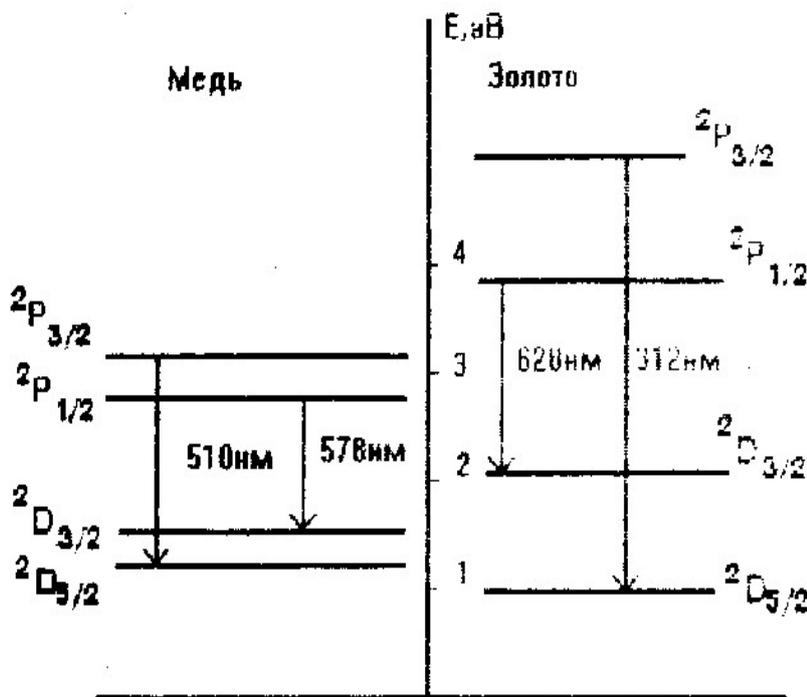


Figure 1 - The energy levels of atoms of copper and gold involved in lasing.

Copper vapor lasers operate with an average output power of up to 40 W in a pulsed periodic mode with pulse duration of about 20 ns and a pulse repetition rate of

up to 20 kHz. Today they are the most effective (efficiency $\sim 1\%$) laser sources in the green region of the spectrum. This relatively high efficiency is associated with a high quantum efficiency of the copper laser $\sim 55\%$, and with a large cross section for the $2p \rightarrow 2s_{1/2}$ transition in electron impact. [4]

Structurally, the laser consists of a radiator and a power supply unit connected by a cable. The active element (Figure 2) is a ceramic tube (1) with built-in electrodes (4), copper generators (5), a container with zeolite (6) and windows (2) to exit the radiation at the ends, filled with a buffer gas. To heat the core, a heat-insulating circuit (7) is used, as well as a heating element (8). For heating containers with working substance and zeolite, heaters (9, 10) with elements (11, 12) are used. The temperature is measured using thermocouples (13). A trunk (14) is used to connect to the vacuum post. The discharge channel with copper generators is heated from a power source by pulses with amplitude of 10 kV and duration of 150– 200 ns. As the tube warms up, the copper vapor pressure in the channel increases. The optimum vapor pressure of copper, corresponding to the highest laser power, is achieved at a channel temperature of about 800°C .

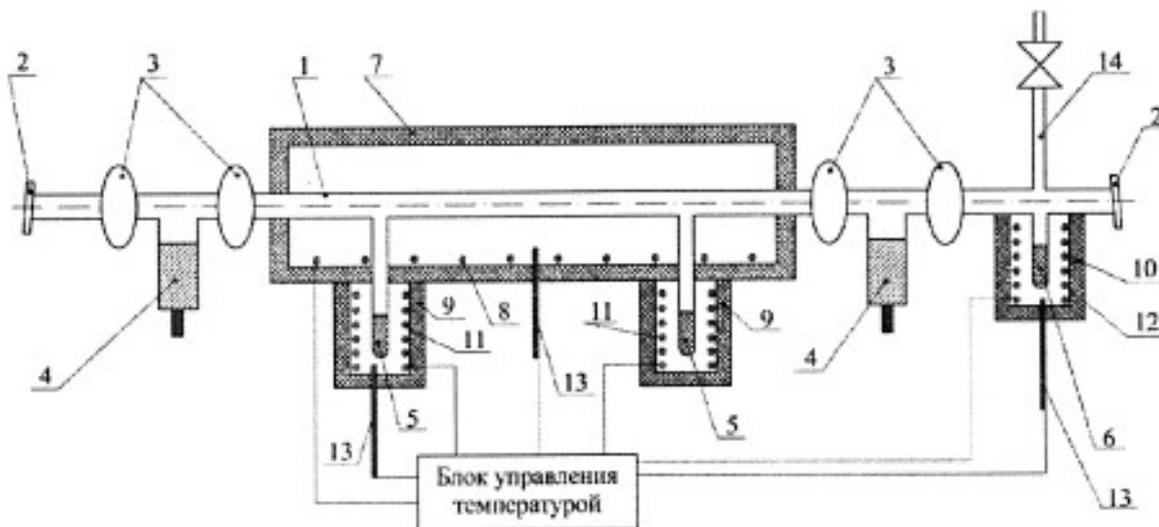


Figure 2 - The active element of a copper bromide vapor laser with external heating of the core and traditional pumping.

1.4.1 The main features of CVL.

In the first generation, such transitions were obtained in manganese vapor (green and infrared spectral regions) and lead vapor (red spectral region) in 1965. A little later, the generation was also obtained in copper vapor. Investigations of these, and others obtained later, generations on r-m junctions in vapors of various metals have confirmed all the expected characteristics and characteristics of such class lasers. Of them can highlight following:

- high generation efficiency. So, the conversion rate of electrical energy into light for these lasers is ten times higher than for such well-known lasers as "argon" and "helium-neon";

- with the extremely pulsed character of generation, which is associated with the metastability of the lower level of the laser transition. Typically, the duration of a pulse of radiation does not exceed 10-30 ns, and they occur on the cutting edge of pulse excitation;

- strict requirements for a pulsed power supply system for such lasers, which should provide powerful high-voltage nanosecond pulses with a steepness of current rise 10^9 to 10^{10} A/s Usually for the excitation of these lasers use the discharge of a capacitor of small capacity (1-5 nF), charged to a voltage of 1-15 kV. The discharge switch serves as a pulsed hydrogen thyratron. The inductance of the discharge circuit of such lasers should be sufficiently small to provide the required steepness of the increase in current impulses;

- high (record) light amplification by active media of these lasers. Usually, the amplification is so high that powerful stimulated radiation is formed by the active medium either with only one resonator mirror or without any mirrors at all. The gain in linear mode can reach 400-600 dB/m. Therefore, the requirements for the quality of the resonator mirrors for these lasers are significantly lower than for all other lasers. Usually, a transparent glass plate with a reflection of 4–8 % is used as the output mirror of the resonator in these lasers. [4]

1.5 Statement of the problem

Due to the literature review, it is easy to conclude that the modification of the discharge circuit is the most promising direction in terms of increasing the efficiency of the laser system. As mentioned above, nowadays, CVL are the most effective (efficiency $\sim 1\%$) laser sources in the green region of the spectrum. Even greater efficiency is achieved through the use of more advanced designs of discharge chambers, optical resonators, cooling systems, the use of various gas mixtures, as well as the modernization of the excitation system. The increase in efficiency in optimizing optical resonators and cooling systems has been studied to a sufficient degree. The operation of the excitation system is usually characterized using several efficiencies.

Physical efficiency $\eta_p(t)$ and η_p determine the efficiency of conversion of electrical energy introduced into the discharge during the excitation pulse into the generation energy, respectively, at a given time t , counted from the start of the excitation pulse (current time, time of the end of the generation pulse) and at the end of the excitation pulse. The dynamic efficiency of a laser characterizes the efficiency of conversion of the electric power introduced into the discharge into the power of laser radiation. The practical efficiency of the laser determines the efficiency of conversion of the energy stored in the storage device at the beginning of the discharge into the generation energy. In this paper we will focus on improving the dynamic efficiency by modifying the discharge circuit.

Thus, the main objective of this work is to test the prototype of the CVL with a new excitation circuit and the choice of the configuration that provides the greatest efficiency gain.