

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка процесса лазерной очистки поверхности металлов от дисперсных частиц, содержащих радионуклиды

УДК 621.7.048.7:621.373.826:539.163

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Лукин Антон Вячеславович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	В.Ф. Мышкин	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШИП	Е.С. Киселева	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	П.Н. Бычков	к.т.н.		

Томск – 2020 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (компетенции)
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для

	проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

П.Н. Бычков
«___» _____ 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А6Д	Лукину Антону Вячеславовичу

Тема работы:

Разработка процесса лазерной очистки поверхности металлов от дисперсных частиц, содержащих радионуклиды	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 59-84/С от 28.02.2020 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> Исследования направлены на оптимизацию параметров импульсного лазерного воздействия на поверхность металла для удаления микрочастиц оксидов тяжелых элементов с поверхностного слоя оболочки твэла. Используемое оборудование: квантовый генератор с активным элементом из YAG:Nd, блоком питания БПЛ-66/33, фокусирующая линза, гамма-спектрометр Canberra с сцинтилятором из NaI со «свинцовым домиком», приборы KLA Tenkor MicroHAM-100 и МПТ-5 центров коллективного пользования ТГУ и ИФПМ
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Аналитический обзор литературы; постановка цели и задач исследования; сборка установки для проведения экспериментов; разработка методики проведения экспериментов; анализ полученных результатов; экономическое обоснование проведения НИР; выводы по работе; заключение</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Экспериментальная часть	профессор ОЯТЦ ИЯТШ В.Ф. Мышкин
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент ОСГН ШИП Е.С. Киселева
Социальная ответственность	ассистент ОЯТЦ ИЯТШ Т.С. Гоголева

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	17.01.2020
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	Вячеслав Фёдорович Мышкин	д.ф.-м.н., профессор		17.01.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Лукин Антон Вячеславович		17.01.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А6Д	Лукину Антону Вячеславовичу

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02«Ядерные физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость расходных материалов; тариф на электроэнергию, должностные оклады исполнителей.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Срок окупаемости; премии; надбавки; дополнительная заработная плата; накладные расходы; рабочий коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставки НДС и социального налога.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведение НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение потенциального потребителя результатов исследования;
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости работы, расчет бюджета, определение рисков
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка социальной эффективности проекта
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Диаграмма Ганта	

Дата выдачи задания по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		17.01.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Лукин Антон Вячеславович		17.01.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А6Д	Лукину Антону Вячеславовичу

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

Тема ВКР:

Разработка процесса лазерной очистки поверхности металлов от дисперсных частиц, содержащих радионуклиды	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Облучение исследуемого вещества (диоксид церия (CeO ₂)) лазерным импульсом затем последующую его регистрацию с помощью профилометра. Цель – оптимизация параметров импульсного лазерного воздействия для удаления дисперсных частиц из поверхностного слоя оболочки твэла. Применение в области аддитивных технологий и лазерной очистки поверхности материалов.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Правовые нормы трудового законодательства; - Требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ; - ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	- отклонение параметров микроклимата; - шум и вибрация; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - электромагнитное излучение; - психофизиологические факторы; - электрический ток.
3. Экологическая безопасность:	- анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду; - разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	- анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований; - анализ типичной ЧС – возникновение пожара на рабочем месте; - обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Татьяна Сергеевна	к.ф-м.н.		17.01.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6Д	Лукин Антон Вячеславович		17.01.2020

Реферат

Выпускная квалификационная работа объёмом 74 страница, 11 рисунков, 18 таблиц, 30 источник, 27 формул.

Исследования направлены на оптимизацию параметров импульсного лазерного воздействия на поверхность металла для удаления микрочастиц оксидов тяжелых элементов с поверхностного слоя оболочки твэла.

Цель исследования – оптимизация параметров импульсного лазерного воздействия для удаления дисперсных частиц из поверхностного слоя оболочки твэла.

В рамках ВКР в процессе исследования проводились:

1. Обзор научно-технической литературы;
2. Оптимизация параметров импульсного лазерного воздействия для удаления дисперсных частиц из поверхностного слоя оболочки твэла;
3. Анализ полученных результатов эксперимента.

В результате исследования установлено, что:

1. При интенсивности от 70 до 100 МВт/см² импульса лазерного излучения длительностью 1-2 мс и длиной волны 1,06 мкм удаление наночастиц UO₂ с поверхности трубки твэла, удерживаемых силами Ван-дер-Ваальса, не приводит к отбраковке твэлов по ТУ из-за формирования глубоких кратеров;
2. Для испарения вваренных в сварной шов наночастиц UO₂ и PuO₂, необходимо применять импульсное лазерное излучение с длиной волны в средней ИК-области.

Результаты исследований по оптимизации параметров импульсного лазерного воздействия для удаления дисперсных частиц из поверхностного слоя оболочки твэла могут быть использованы в дальнейшем при дальнейшей разработке лазерного метода очистки оболочки твэла, а также в области аддитивных технологий.

Оглавление

Реферат	9
Введение	13
1 Обзор научно – технической литературы	15
1.1 Устройство лазера	15
1.2 Выбор источника лазерного излучения	15
1.2.1 CO ₂ -лазер.....	15
1.2.2 Волоконный лазер	16
1.2.3. Nd:YAG-лазер	16
1.3 Лазерный нагрев материала	19
1.4 Сверление углублений в металлах импульсом	20
1.5 Модель нагрева металлов при различных плотностях потоков лазерного излучения.....	21
1.6 Обоснование метода поверхностной дезактивации твэлов	23
2 Экспериментальные исследования.....	25
2.1 Очистка образцов от поверхностного загрязнения	25
2.2 Контроль поверхностей образцов с помощью профилометра.....	27
2.3 Очистка сварного шва от внедренных в их объем наночастиц	28
Выводы	32
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	33
3.1 Анализ конкурентных технических решений.....	34
3.2 SWOT-анализ.....	35
3.3 Планирование научно-исследовательских работ	39
3.3.1 Определение трудоёмкости выполнения работ	40
3.3.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	41

3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	43
3.4.1 Расчёт материальных затрат НТИ	44
3.4.2 Расчёт затрат на специально оборудование для научных (экспериментальных) работ	44
3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	45
3.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	48
3.4.5 Накладные расходы	49
3.4.6 Формирования бюджета затрат научно-исследовательского проекта	49
3.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	50
Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение:	53
4 Социальная ответственность	54
Введение	54
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	54
4.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	54
4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	56
4.2 Производственная безопасность	57
4.3 Анализ вредных и опасных производственных факторов	59
4.3.1 Микроклимат	59
4.3.2 Производственный шум	60
4.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны	61
4.3.4 Лазерное излучение	62

4.3.5 Факторы электрической природы.....	63
4.3.6 Психофизиологические факторы.....	65
4.4 Экологическая безопасность	66
4.5 Безопасность в ЧС	68
4.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	68
4.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	68
4.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	69
Выводы по разделу.....	71
Список использованных источников	72

Введение

В связи с переходом к ядерным реакторам 4-го поколения, например, разработкой БН-800, становится перспективным направлением производство новых видов ядерного топлива, к которым относится мокс-топливо. Производство мокс-топлива представляет из себя процесс, имеющий множество технологических особенностей, не характерных для производства традиционного топлива. Поэтому требуются множество дополнительных контрольных операций.

Например, при производстве твэлов с мокс-топливом, одной из контрольных операций, является измерение поверхностного загрязнения α -активными радионуклидами. Это связано с тем, что мокс-топливо содержит Pu, в том числе оружейной концентрации, являющимся очень активным веществом (~в 180000 раз активнее природного урана) претерпевающим в основном α -распад. Поэтому попадание даже мельчайших частиц топлива на внешнюю поверхность трубки твэла, вносит большое α -загрязнение.

Технология производства твэла, предусматривает в себя загрузку трубки топливным столбом, при которой микрочастицы топлива остаются на торце трубки и в последующем попадают в сварной шов между заглушкой и трубкой твэла. В результате неизбежно формируется загрязнение поверхности твэла в районе сварного шва заглушки. Загрязнение твэла представляет из себя частицы мокс-топлива находящиеся на поверхности трубки, а также включения частиц топлива в сварочный шов заглушки твэла на различную глубину.

Используемая в настоящее время технология дезактивации трубки твэла предусматривает протирку его поверхности через тканевые чистящие элементы картриджа [патент РФ №2605540]. Недостатком этой технологии является высокая стоимость картриджа. При этом картридж после использования представляет из себя РАО. Картридж также не обеспечивает удаление внедренных в сварной шов заглушки твэла дисперсных частиц. Поэтому

механическая протирка сварного шва картриджем с растворителем не приводит к уменьшению активности.

Известны лазерные технологии обработки металлов и сплавов: сварка, резка, очистка (поверхностное испарение). Для уменьшения количества бракованной продукции предлагается использовать лазерную дезактивацию поверхности оболочки твэла. Можно формировать лазерное излучение с высокой пиковой мощностью и малой длительностью импульса. При этом возможно испарять частицы оксидов урана и плутония, оставляя нетронутым слой металла оболочки трубки твэла.

Цель исследования – оптимизация параметров импульсного лазерного воздействия для удаления дисперсных частиц с поверхности и из поверхностного слоя оболочки твэла.

1 Обзор научно – технической литературы

1.1 Устройство лазера

Основные компоненты, входящие в состав лазера (рис. 1), -это рабочая среда, способная генерировать излучение и усиливать свет, когда к ней прикладывается энергия возбуждения, и резонатор, обеспечивающий усиление интенсивности излучения за счет многопроходного отражения света через рабочую среду (его образуют передние и задние зеркала: часть света, которая проходит через, частично пропускающее переднее зеркало, превращается в выходное лазерное излучение и составляет пучок, используемый при обработке).

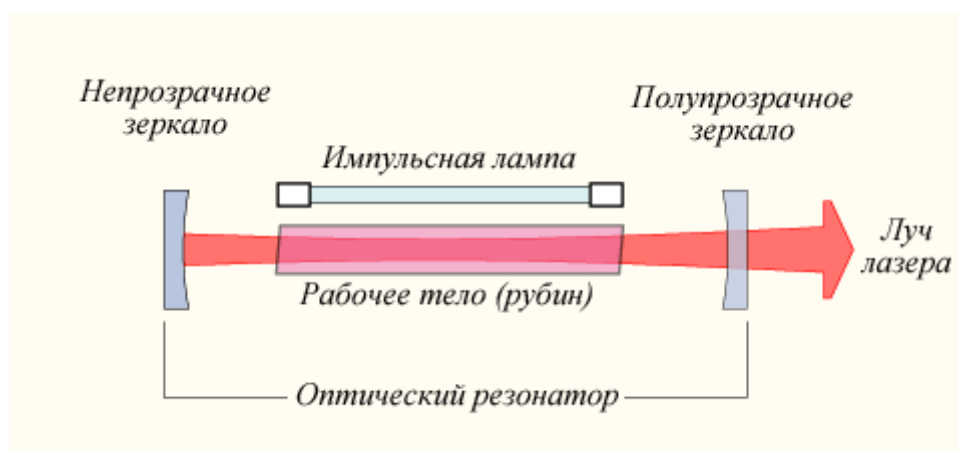


Рис. 1 Основные компоненты лазера

1.2 Выбор источника лазерного излучения

1.2.1 CO₂-лазер

Для CO₂-лазера рабочая среда представляет собой газовую смесь (в основном гелий, азот и диоксид углерода), а энергии возбуждения, которая обеспечивает приращение энергии входного сигнала, поступает из электрического разряда, пропускаемого через газ. Длина волны излучения составляет 10,6 мкм. для твердотельного лазера усиливающей средой, как правило, является стержень YAG (алюмоиттриевый гранат), легированный примерно 1% атомов Nd (неодима), а энергию возбуждения обеспечивает широкополосный свет от пульсирующей лампы-вспышки. Длина волны выходном лазерного излучения 1,064 мкм.

1.2.2 Волоконный лазер

Для волоконного лазера усиливающей средой является стекловолокно, легированное иттербием. Накачка достигается введением в усиливающую рабочую среду света от лазерных диодов. Конфигурации ввода в усилитель света от лазерных диодов, генерирующих излучение на длине волны 950 нм, разные: свет накачки может вводиться в том же направлении, что и сигнал, в противоположном направлении, в обоих направлениях [1]. Волоконные лазеры, как правило, генерирует излучения в диапазоне длин волн от 1,07 мкм до 1,09 мкм, при этом физические размеры активной среды для волоконных лазеров сильно отличаются от размеров рабочего тела других типов лазеров. Так, если стержень Nd:YAG может быть длиной 200 мм, газоразрядная трубка CO₂ — лазера — длиной около 2 м, то усиливающее волокно в волоконном лазере, будет составлять десятки метров. Отражатели, используемые в волоконном лазере, тоже отличаются от тех, что используются в традиционных лазерах. В привычных традиционных конструкциях обычно это зеркало, представляющее собой подложку с комбинацией диэлектрических покрытий, определяющих пропускание и длину волны излучения лазера. В волоконном же лазере используются встроенные дифракционные решетки, впечатанные в сердцевину волокна. Эти дифракционные решетки являются диспергирующими элементами, их работа описывается закономерностями Брэгга, поэтому они называются брэгговскими решетками (волоконные брэгговские решетки-ВБР) и представляют собой совокупность переодических изменений показателя преломления. Период решетки определяет длину волны отраженного света, а изменение показателя преломления - величину отраженного света.

1.2.3. Nd:YAG-лазер

Nd:YAG-лазер-это твердотельный лазер, его активная среда выполнена, как правило, в форме стержня, он излучает на длине волны 1,06 мкм [2]. Активными добавками являются ионы Nd, которые присутствуют в небольших концентрациях в кристалле YAG. В импульсном режиме выходная мощность лазера может быть получена при общей эффективности в диапазоне 3-5%.

Благодаря своей эффективности, выходной мощности и надежности по сравнению с другими твердотельными лазерами этот лазер нашел широкое применение в промышленности. Nd:YAG кристалл стержень получают, выращивая его по методу Чохральского [3] (затравочный кристалл медленно в течение нескольких дней вытягивают вверх от свободной поверхности объема расплава компонентов кристалла, находящегося в тигле). После извлечения из ростовой камеры Nd:YAG кристалла(буля), у которого нет ни граней, ни ребер, ни выступающих вершин, из него делают, как правило, не один, а несколько лазерных стержней. Концентрация ионов неодима в буле тщательно контролируется и должна составлять не более 1,1%. Если попытаться и дальше увеличивать процентное содержание легирующих ионов Nd в матрице с целью дальнейшего усиления выходной мощности лазера, то в кристалле могут возникнуть недопустимые дислокации, присутствие которых, наоборот, вызовет сильное уменьшение мощности лазера.

Стержни лазеров, в основном, составляют в размерах диаметра около 6 мм и порядка 100 мм в длину, а самые большие стержни могут достигать в промышленных лазерах в диаметре 10 мм и иметь длину до 200 мм. Из-за малого размера кристалла конструкции Nd:YAG-лазеров, как правило, гораздо более компактные, чем CO₂-лазеры. Лазерная генерация достигается при оптическом возбуждении кристалла лампами, расположенными в непосредственной близости от него. Спектр излучения ламп — от 700 до 800 нм — перекрывает полосы поглощения Nd:YAG-кристалла. Для того, чтобы увеличить ввод света от ламп в стержень и соответственно влечь максимальную мощность на лазер, стержень и лампа заключают в специально спроектированные и изготовленные резонаторы. Такой узел называют квантроном. Двумя наиболее распространенными конфигурациями резонаторов являются эллиптические и близко связанные с ним формы. В случае эллиптического сечения стержень и лампа размещены вдоль двух фокусов, а в использования резонаторов с иной, близко связанной с эллиптической, формой лампы размещают близко друг к другу и к оси стержня. Внутренняя поверхность резонатора обычно покрыта

золотом, что способствует максимальному взаимодействию света лампы со стержнем. Некоторые производители лазеров также делают керамические резонаторы, которые обеспечивают более равномерную накачку стержня, но при этом в сравнении с резонатором с золотым покрытием их эффективность снижена примерно на 5%.

Для накачки Nd:YAG-лазеров, излучающих в непрерывном режиме, наиболее широко используют дуговые лампы на криптоне, в то время как для импульсного режима используются лампы-вспышки, заполненные ксеноном при высоком давлении и криптоном. Срок службы ламп накачки определяет требование к длительности межремонтного интервала при обслуживании временных Nd:YAG-лазеров. Для дуговых ламп срок службы составляет от 400 до 1000 ч., в то время как для импульсных лазеров — от 20 до 30 миллионов импульсов в зависимости от условий работы [4].

Только часть излучаемого света поглощается кристаллом, остальная его часть рассеивается в виде тепла в резонаторе и для эффективной работы лазера должна быть удалена. Обычно это достигается путем охлаждения при пропускании деионизированной воды вокруг стержня и лампы в закрытом контуре системы охлаждения, который соединен с теплообменником для эффективного отвода тепла.

Nd:YAG-лазеры характеризуются выходной мощностью в единицу времени, их различают как импульсные, непрерывные и лазеры, работающие в супермодулированном режиме [5,6,7]. Электропитание импульсных Nd:YAG-лазеров предназначено для получения высоких пиковых мощностей во время одного лазерного импульса, и в эти лазеры не имеют возможности работать в непрерывном режиме (CW) генерации излучения.

Импульсный режим (PW) подразумевает, что активная среда лазера возбуждается очень быстро в ответ на внешнее стимулирующее воздействие. Это позволяет лазеру передавать избыток энергии в течение короткого промежутка времени (как правило, порядка миллисекунд).

Пиковая мощность импульса для импульсных Nd:YAG-лазеров может быть выше раз в 30 максимальной величины средней мощности. Это позволяет лазерам с низкой и средней мощностью достигать в импульсе энергии достаточной, чтобы нагреть обрабатываемые материалы до температур испарения. Базовый лазерный импульс имеет прямоугольную форму. Если большинство лазеров непрерывного излучения оценивают по параметрам их излучения, то при оценке импульсных лазеров необходимо учитывать энергию импульса, пиковую мощность, длительность импульса и частоту [8].

1.3 Лазерный нагрев материала

В основе нагрева материала лазером лежит процесс поглощения светового потока и передача его энергии тепловым колебанием решётки твёрдого тела [9, 10]. После разогрева материала следует его расплавление и испарение. Одновременно с этими стадиями происходят диффузионные и химические процессы, а также фазовые превращения.

Количество поглощённой энергии зависит от теплофизических и оптических свойств материала, которая уменьшается с увеличением длины волны излучения. Большая часть лазерного излучения 70 - 95% отражается от металлов. Отражающая способность материала достигает максимальных значений для полированных поверхностей. Полированные алюминий и медь при комнатной температуре отражают 97 и 99% излучения с длиной волны 10.6 мкм (CO₂ - лазер) соответственно [10].

Плотность излучения и время его воздействия определяют основные методы лазерной обработки: нагрев, плавление и ударное нагружение. Лазерный нагрев, приводящий к фазовым превращениям в поверхностном слое, требует минимальной плотности энергии излучения ($10^3 - 10^4$ Вт/см²) при времени его воздействия $10^{-3} - 10^{-2}$ с, в то время как для ударного воздействия требуется максимальная плотность энергии излучения ($10^8 - 10^{10}$ Вт/см²) при времени воздействия $10^{-9} - 10^{-6}$ с [9, 10, 11].

Для обработки различных материалов используются лазеры непрерывного и импульсного действия (CO₂ -, Nd:YAG – лазеры и различные

твердотельные лазеры). Лазерную обработку проводят на воздухе, в среде аргона, азота и их смесях.

Методы поверхностной лазерной обработки позволяют в широких диапазонах изменять структуру и свойства поверхностного слоя материала толщиной 0.05 – 5.0 мм, однако свойства и структура остального объёма материала остаются неизменными. Лазерное модифицирование поверхности деталей машин, ответственных узлов конструкций и различного оборудования широко используется как на зарубежных, так и на отечественных предприятиях самых различных отраслей (автостроение, авиастроение, медицина, дорожное и сельскохозяйственное машиностроение, обрабатывающий инструмент, нефтегазовая и горнодобывающая промышленность).

1.4 Сверление углублений в металлах импульсом

При ИПР кратер увеличивает глубину т.к. производится послойное испарение слоёв импульсами Nd:YAG лазера. Глубина кратеров определяется суммарной энергией серии импульсов, диаметр же кратера определяется отдельными параметрами импульса. Соответственно, чем меньше импульс, тем меньше глубина снимаемого слоя, диаметр кратера будет схож, с диаметром импульса, а также уменьшение дефектов на поверхности обрабатываемого материала.

Стоит отметить, что можно использовать два режима:

- 1 сделать наиболее глубокий кратер;
- 2 высоко качественное углубление, с меньшим количеством дефектов.

Для первого варианта подируют длительность импульса такую, чтобы максимально глубоко пробить материал. Во втором варианте длительность лазерного излучения и необходимая энергия находятся из следующего условия:

$$\tau_i \leq \frac{d_b^2}{4\alpha}, \quad z_{hole}(t) \leq d_b, \quad (1.1)$$

из этого условия можно сделать вывод, что распределение тепла в боковые стенки незначительно, а слой, который обрабатывается лазерным излучением будет меньше d_b .

1.5 Модель нагрева металлов при различных плотностях потоков лазерного излучения

При малых значениях плотности потока лазерного источника q_s начинается повышение температуры поверхностного слоя материала, который подвержен лазерному излучению. Если $q_s < q_{liq}$, тогда не будет образован переплавленный поверхностный слой, и после завершения воздействия лазерным излучением, поверхностный слой начнёт остывать. При обратных условиях, будет образована зона переплава вещества. А толщина прогретого слоя определяется как:

$$z_r = 2\sqrt{\alpha\tau_i} \quad (1.2)$$

В зависимости от диаметра пятна падающего на поверхность материала воздействующего излучения d_b и прогретого им слоя вещества, тепло в материале будет распространяться различно. На рис. 2 показано распределение нагрева материала при различных режимах лазерного воздействия. В случае когда $d_b \gg z_r$, z_r имеет форму цилиндра, и его объём вычисляется по формуле:

$$V \approx \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} \sqrt{\alpha\tau_i}. \quad (1.3)$$

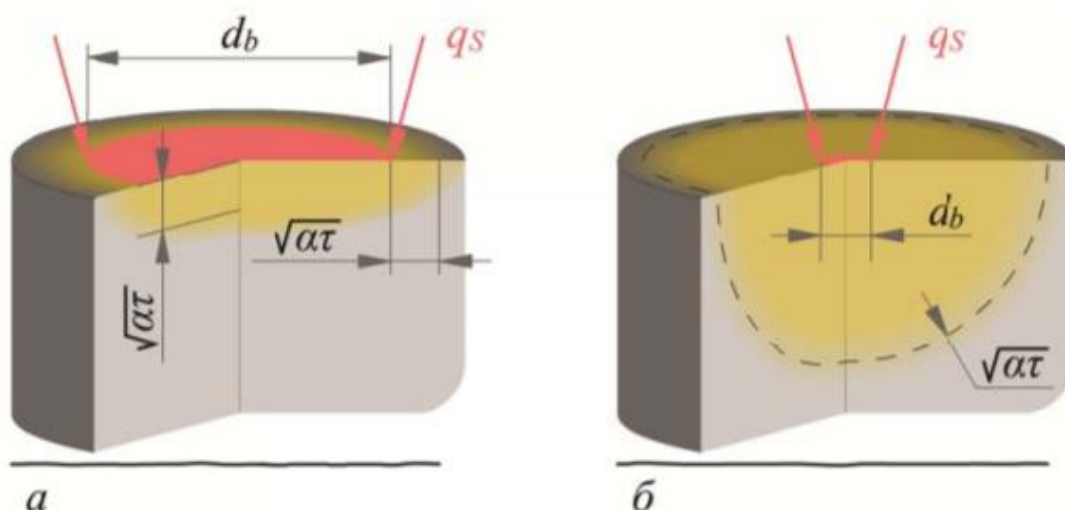


Рис. 2 Форма прогреваемого объёма материала при воздействии широким (а) и узким (б) лазерным пучком

Схематически модель нагрева и остывания материала с последующим увеличением плотности потока q_s лазерного излучения показана на рис. 3.

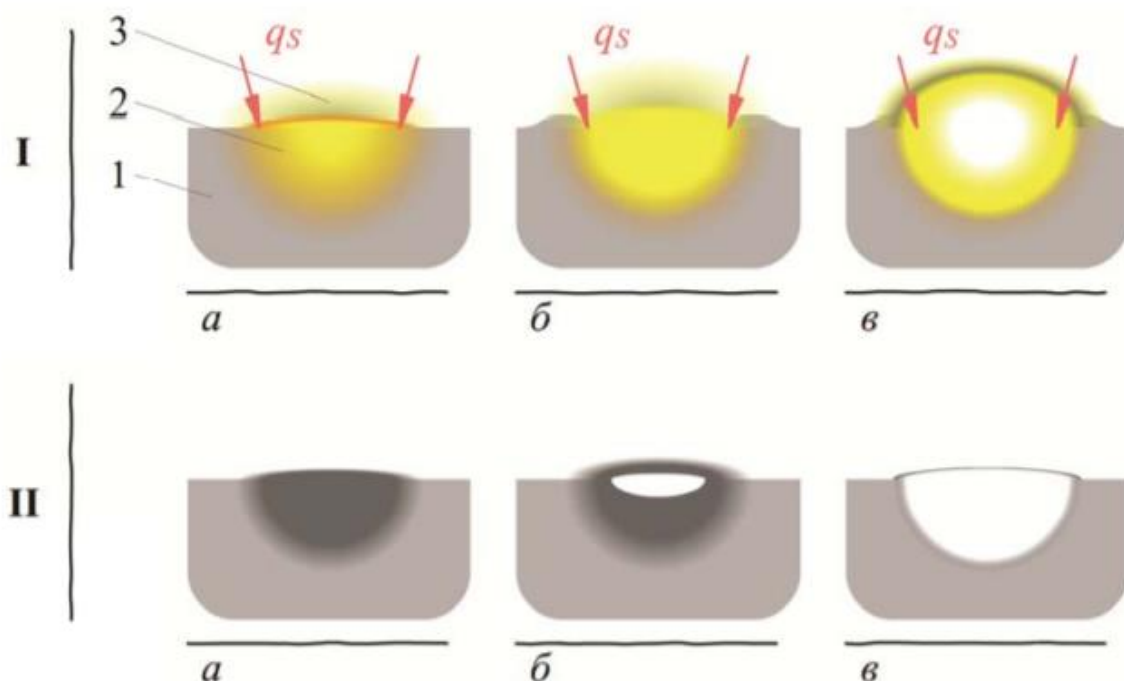


Рис. 3 Нагрев металла при действии ЛИ (I) и после воздействия (II) в зависимости от плотности мощности лазерного излучения:

а - $q_s < q_1$; б - $q_1 < q_s < q_2$; в - $q_s > q_2$

1 – металл, 2 – расплав, 3 – продукт разрушения.

При увеличении плотности потока лазерного излучения начинается процесс плавления металла, впоследствии при превышении q_1 , начинается глубокое проплавление материала. Продукты разрушения в виде парогазовой струи разлетаются в окружающее пространство, а жидкий металл отходит на стенки кратера и выдавливается на его края. Часть излучения поглощается и рассеивается продуктами разрушения. Особенно сильно поглощает и рассеивает паровая фаза, представляющая собой при потоках $q_s \sim 10^8$ Вт/см² слабоионизованную плазму. Луч лазера подогревает плазму. Если импульс излучения лазера имеет импульс близкий к форме импульса накачки временную структуру, то свечение плазмы носит соответствующий пиковый характер. Однако поглощение излучения плазмой существенно влияет на баланс энергий только при потоках $q_s > 10^9$ Вт/см². Поэтому эта величина является верхней границей диапазона рабочих плотностей потока при получении отверстий в металлах. Движущаяся парожидкостная струя плавит и размывает стенки кратера. Как и при движущемся источнике, доля жидкой фазы определяется потоком q_s обычно при получении отверстий она составляет от 30 до 80 % и тем

больше, чем выше теплопроводность материала, тем и разница между T_{liq} и T_{evap} вещества [12].

Стоит обратить внимание на то, что расплав материала движется вверх по стенкам кратера. При достижении q_s второй критической плотности потока увеличивается скорость плавления, в расплаве возникают явления, когда при увеличении скорости течения жидкости образуются нелинейные фрактальные волны, а также происходит отрыв капель и их разлет. Капли могут застывать вокруг кратера, и на его стенках и дне. В продуктах разрушения могут иметься частицы твердой фазы (за счет разрушения импульсом отдачи дна лунки и термоупругих напряжений, поскольку градиенты температур в различных точках могут достигать $10^5 \dots 10^6$ К/см). Возникновение застывающих капель в лунке возможно из-за конденсации паров [12].

Если время действия лазерного импульса велико, то термические напряжения могут привести к возникновению дефектов материала вокруг кратера. При потоках излучения $q_s > 5 \cdot 10^7$ Вт/см² кратер после окончания воздействия лазерного излучения уже не будет содержать расплава [12].

1.6 Обоснование метода поверхностной дезактивации твэлов

Металлы и их оксиды имеют достаточно высокую теплопроводность. Поэтому поверхностный нагрев приводит к повышению температуры во всем объеме и плавлению. Известен подход к поверхностному испарению металлов – импульсное лазерное облучение.

Одним из факторов влияющих на эффективность лазерных технологий является комплексный показатель преломления материалов. Эффективность использования лазерной энергии для нагрева веществ во многом зависит от мнимой части комплексного показателя преломления. Поэтому металлы и оксиды металлов будут нагреваться с разной скоростью из-за того, что имеют разные показатели преломления. При этом возможно селективное испарение внедренных дисперсных частиц в оксидной форме, находящихся в поверхностных слоях металлической матрицы. Селективному испарению оксидных включений способствует их меньшая теплопроводность и высокий

коэффициент поглощения лазерного излучения на рабочей длине волны. Металлы и оксиды металлов также отличаются теплоемкостью, а также температурами плавления и кипения.

$$W_T = \rho \cdot (c \cdot (T_{liq} - T_0) + H_{liq}) \cdot \frac{\pi \cdot (d_b + 2\sqrt{\alpha\tau_i})^2 \cdot z_r}{4} \quad (1.5)$$

Из-за того, что материал оболочки твэла обладает большей теплопроводностью, по сравнению с оксидами урана и плутония, то возможно подобрать режимы лазерного воздействия, при которых будут испаряться частицы оксида урана и плутония. Энергия, поглощенная в оболочке твэла, будет рассеиваться в глубь металла за счет его высокой теплопроводности. При этом лазерное воздействие не повреждает трубку.

$$W_0 \cdot A = \rho \cdot (c \cdot (T_{evap} - T_0) + H_{liq} + H_{evap}) \cdot \frac{\pi \cdot (d_b + 2\sqrt{\alpha\tau_i})^2 \cdot z_r}{4} \quad (1.6)$$

Использование высокоактивного PuO_2 для проведения экспериментальных исследований требует выполнения жестких требований по радиационной безопасности. Поэтому необходимо подобрать имитаторы, моделирующие параметры радионуклидов. Наиболее приемлемы оксиды лантаноидов, с помощью которых можно имитировать UO_2 , PuO_2 по соотношению теплофизических свойств: температуры плавления и кипения, теплопроводность, теплоемкость.

Исходя из теплофизических параметров веществ, можно предположить, что для моделирования теплофизических параметров смеси оксидов урана и плутония, возможно использовать смесь оксида церия с другим лантаноидом, например, Nd_2O_3 или с актиноидом ThO_2 . Эти оксиды имеют схожую зависимость теплопроводности от температуры, а также температуры кипения и плавления [13].

2 Экспериментальные исследования

Для проведения экспериментальных исследований по оптимизации параметров лазерного воздействия при поверхностной дезактивации была собрана установка, содержащая квантовый генератор с активным элементом из YAG:Nd, накачиваемый блоком питания БПЛ-66/33, фокусирующую линзу, позиционирующее устройство с закрепленным фрагментом трубки твэла. Использовали лазерный луч длиной волны 1,06 мкм в режиме свободной генерации, имеющей длительность 1-2 мс. Облучаемый образец размещали на столике, перемещаемом по трем координатам. Перед началом облучения образец, размерами 10×6 мм, выводили в фокальную плоскость линзы, область фокусировки устанавливали на краю образца. Во время облучения с частотой 1 или 3 Гц образец перемещали по одной линии с помощью автоматизированной тележки, а в перпендикулярном направлении - вручную. Это позволяло использовать импульсный лазер в установившемся режиме. При этом выходное напряжение БПЛ изменяли в диапазоне 650-850 В во время ручной перестройки положения образца относительно луча.

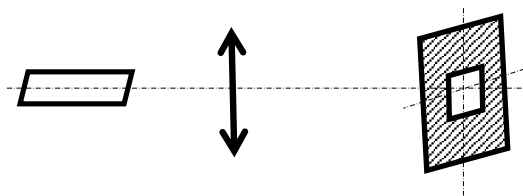


Рис. 4 Принципиальная схема и фотография экспериментальной установки

2.1 Очистка образцов от поверхностного загрязнения

Как известно, уран имеет гораздо меньшую активность, чем плутоний. Поэтому для проверки возможности лазерной дезактивации, использовали UO_2 , который наносили на образец трубки твэла методом сухого натирания. Для определения активности образца применялся гамма-спектрометр, позволяющий задавать длительное время экспонирования для набора достаточной статистики.

При известном изотопном составе образца можно использовать гамма-спектрометр с невысокой разрешающей способностью, например, гамма-спектрометр Canberra с сцинтилятором из NaI со «свинцовым домиком».

Вначале измеряли активность испытываемых образцов. Далее наносили радиоактивное загрязнение и повторно регистрировали активность. Ниже представлен гамма-спектр образца с чистой поверхностью и с нанесенной на её поверхность оксидом урана.

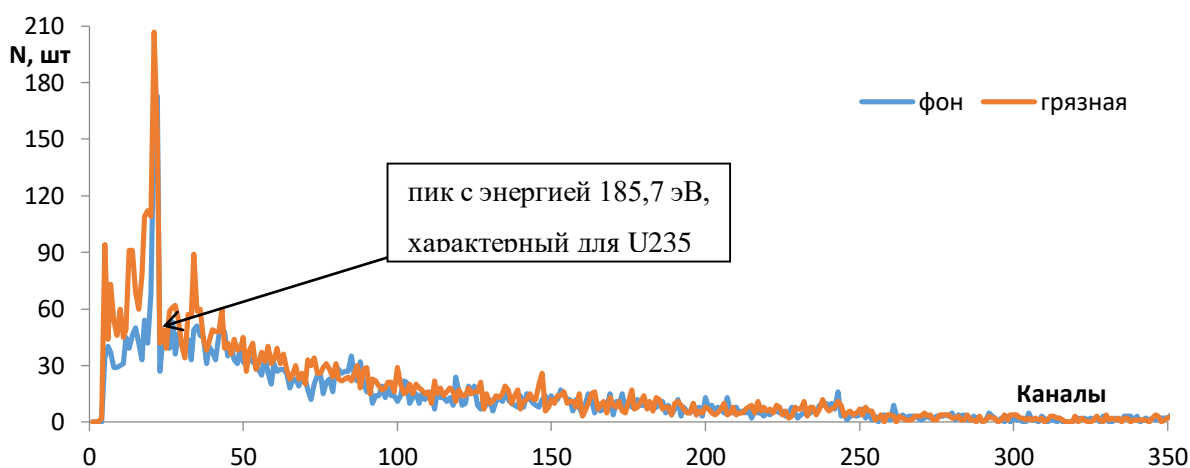


Рис. 5 Гамма-спектр образцов

Сопоставление полученных спектров от исходной и меченной пластинок показывает, что суммарное количество регистрируемых импульсов возрастает, например, с 4998 до 6146 имп. за 30 минут экспонирования. Из спектра видно, что регистрируются пики в области 1-19 каналов, характерные, например, для собственной флуоресценции йода в кристалле и рентгеновского излучения. Это подтверждает наличие оксида урана на образце.

В дальнейшем образцы с радиоактивным загрязнением облучались лазерными импульсами, так чтобы соседние фокальные пятна размером 0,2 мм перекрывались. Облучение начинали с верхнего края и точку облучения перемещали по всей поверхности. Для этого облучение начинали и заканчивали за пределами образца. На рис 6 приведены гамма-спектры четырех испытываемых образцов, до нанесения и с нанесенным поверхностным загрязнением, а также после лазерной обработки лучом с интенсивностью: 141 МВт/см², 100 МВт/см², 93 МВт/см², 64 МВт/см². Приведена лишь

характерная для изотопа U^{235} , в уране природной концентрации, линия с энергией 185,7 эВ, имеющая наибольшую интенсивность [14]. Видно, что облучаемые образцы имели разную активность.

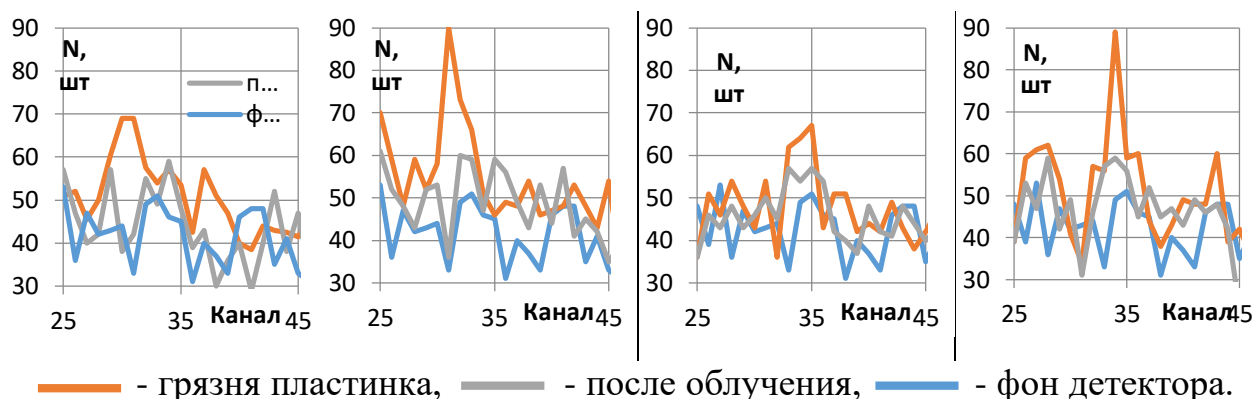


Рис. 6 Гамма-спектры четырех испытываемых образцов

После воздействия лазерным излучением исчез характерный для изотопа U^{235} пик, а активности облучаемых образцов приблизилась к фоновому значению. Логично связать уменьшение активности с испарением приповерхностного слоя образца в результате лазерного облучения высокой интенсивности. При интенсивности лазерного излучения более 64 МВт/см^2 происходит удаление радиоактивных наночастиц из оксида природного урана, удерживаемых на поверхности стали марки ЧС-68 силами Ван-дер-Ваальса.

2.2 Контроль поверхностей образцов с помощью профилометра

В соответствии с общими требованиями технических условий (ТУ) на твэл, на наружных поверхностях твэла не должно быть повреждений глубиной более: 20 мкм - на оболочке, поверхности проволоки и сварных швах, 200 мкм - на концевых деталях. Лазерное облучение приводит к формированию эрозионного кратера. На рис. 7 приведены микрофотографии кратеров, полученных при лазерном облучении с интенсивностью 141 МВт/см^2 , 100 МВт/см^2 , 93 МВт/см^2 , 64 МВт/см^2 соответственно. Из изображений, даже без дополнительного анализа, понятно, что при интенсивности излучения 141 МВт/см^2 на поверхности образца формируются глубокие кратеры, приводящее к отбраковке. Поэтому определяли профиль поверхности кратера.

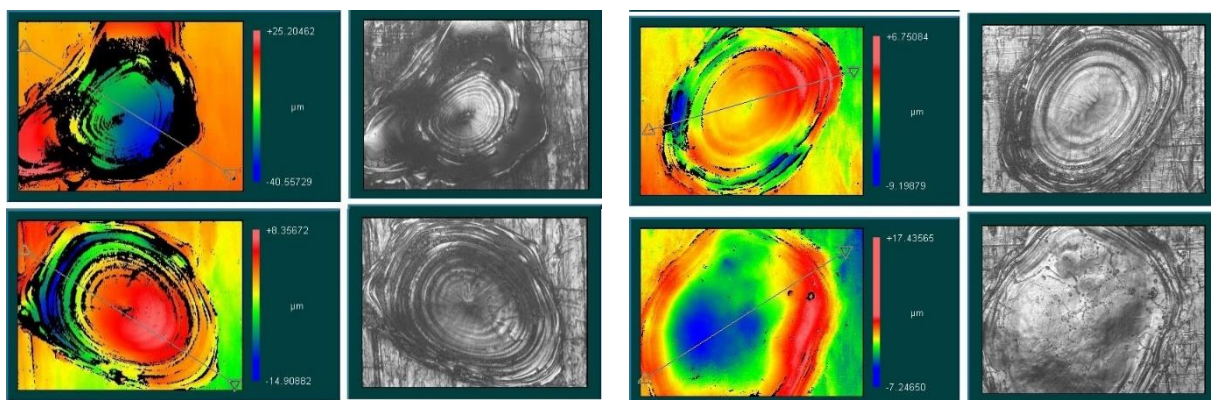


Рис. 7 Микрофотографии кратеров

На рис. 8 приведены профили кратеров, полученные на профилометре KLA Tenkor MicroXAM-100. Видно, что при интенсивности 141 МВт/см^2 формируются недопустимые по ТУ дефекты глубиной до 40 мкм . При интенсивности менее 100 МВт/см^2 глубина кратера не выходит за пределы требований ТУ. Также видно, что центр кратера подвержен меньшей эрозии. Наибольшая глубина испарения наблюдается на периферийной области по кругу.

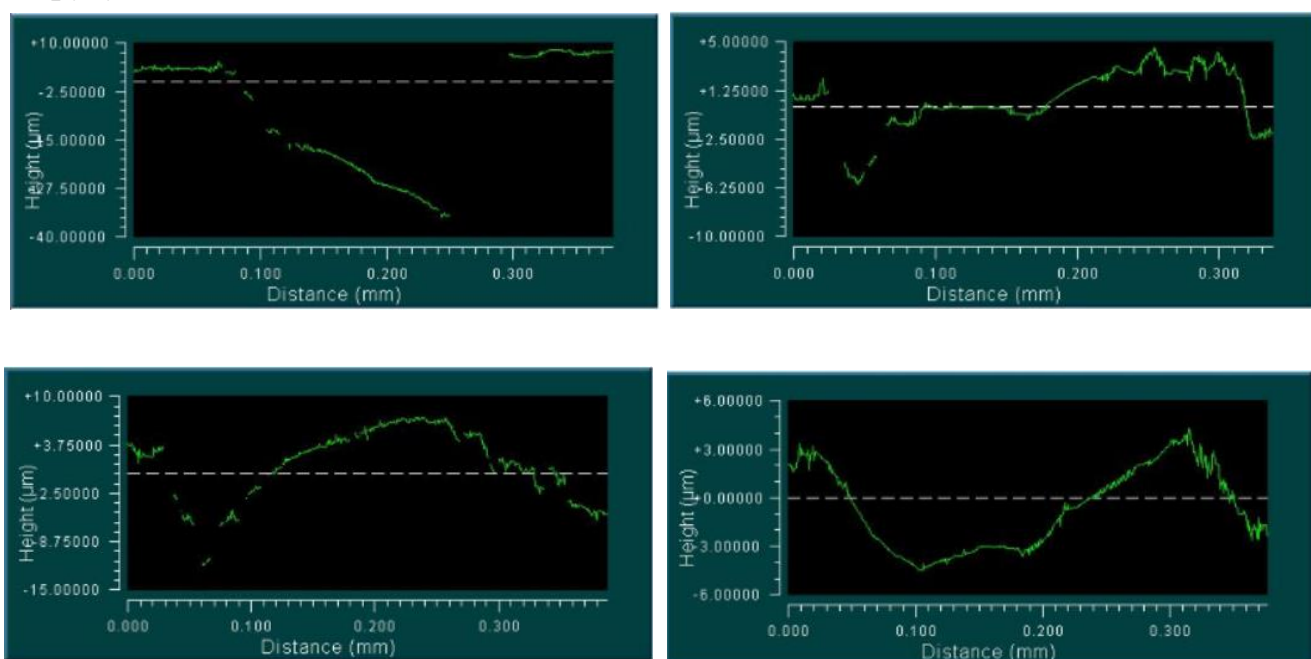


Рис. 8 Профили кратеров

2.3 Очистка сварного шва от внедренных в их объем наночастиц

Сварочный шов представляет из себя сложную структуру с включениями из различных частиц. Поэтому наиболее трудно удаляемое радиоактивное загрязнение, при сборке твэлов, возникает не на поверхности трубки, а в объеме

сварного шва заглушки в виде включений наночастиц мох-топлива. При этом наночастицы могут располагаться на разной глубине матрицы. Это значительно усложняет решаемую задачу, так как лазерное воздействие должно испарить открытые «включения» и не вскрывать ранее «утопленные» в объеме металла наночастицы, содержащие радионуклиды.

Оценим возможности лазерной дезактивации от объемного загрязнения сварного шва с помощью известных формул:

$$A_{ef} \frac{W_0}{\tau_i} = c\rho \cdot \Delta T \cdot (d_p + 2\sqrt{\alpha\tau_i}) \cdot v \cdot z_r. \quad (2.1)$$

При высоких плотностях лазерного потока, прошлое уравнение принимает следующий вид для различных режимов:

в режиме плавления:

$$A_{ef}P_0 = \rho \cdot (d_p + 2\sqrt{\alpha\tau_i}) \cdot v \cdot z_r \cdot (c \cdot (T_{liq} - T_0) + H_{liq}) \quad (2.2)$$

в режиме испарения:

$$A_{ef}P_0 = \rho \cdot (d_p + 2\sqrt{\alpha\tau_i}) \cdot v \cdot z_r \cdot (c \cdot (T_{evap} - T_0) + H_{liq} + H_{evap}), \quad (2.3)$$

в импульсно периодическом режиме:

$$A_{ef}P_0 = \rho \cdot \left(d_p + 2\sqrt{\frac{\alpha\tau_i}{G}} \right) \cdot v \cdot z_r \cdot (c \cdot (T_{evap} - T_0) + H_{liq} + H_{evap}), \quad (2.4)$$

На рис. 9 приведена микрофотография лунки с двумя профилями, один из которых проведен через центр кратера, а другой профиль взят на периферийной области по кругу. Как видно из графиков, повреждения на поверхности сварного шва остаются в пределах требований ТУ. Стоит отметить, что при облучении лазером сварного шва кратер имеет меньше углублений в отличие от облученной поверхности твэла. Связано это с тем, что сварной шов имеет включения различных частиц, а при воздействии лазерным лучом вместе с открытыми включениями начинает плавиться и часть шва, но расплав материала будет двигаться по кратеру. При этом течение жидкости образует нелинейные фрактальные волны, и вместе с этим, происходит отрыв капель и их разлет, капли же застывают в кратере. Впоследствии этого, поверхность сварного шва

очищается от радиоактивных наночастиц. При этом внутренние включения РАО остаются закрыты.

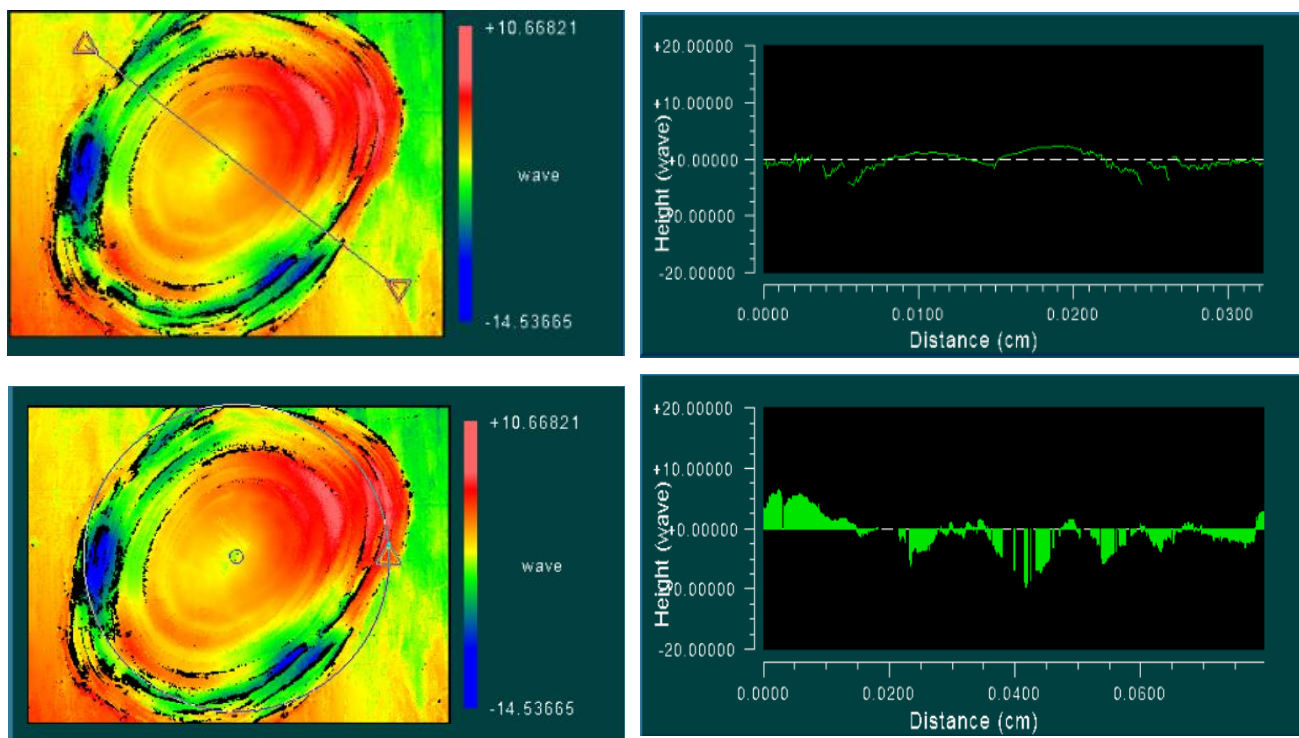


Рис. 9 Профили кратера на сварном шве

Видно, что существует режим лазерного воздействия, обеспечивающий значительное уменьшение количества «открытых» наночастиц, определяющих активность сварного шва.

Для экспериментального определения приемлемого режима лазерного облучения был изготовлен образец, содержащий сварной шов, сформированный на поверхности стали марки ЧС-68, с включенными в него частицами оксида церия, не превышающими 0,8-1,2 мкм. Для формирования образца порошок CeO_2 смешивали со спиртом и наносили на поверхность металла. После испарения спирта формировали шов поверх порошка с помощью аргоно-дуговой сварки. Облучение лазерным лучом проводили так, чтобы области лазерной абляции не перекрывались. При этом в области лазерного воздействия возможно наличие радиоактивной частицы.

При лазерном воздействии на сварочный шов излучение фокусировали в пятно с интенсивностью 100 МВт/ см^2 . Формируемые при этом области с

абляцией при двух увеличениях приведены на рис. 10. Видно, что область абляции достаточно плоская, что связано с равномерным распределением интенсивности излучения в фокальном пятне. Характер поверхности позволяет предполагать, что из-за большой длительности импульса испарение металла происходило из ванны расплава. На изображениях видны инородные включения в виде темных и ярких областей.

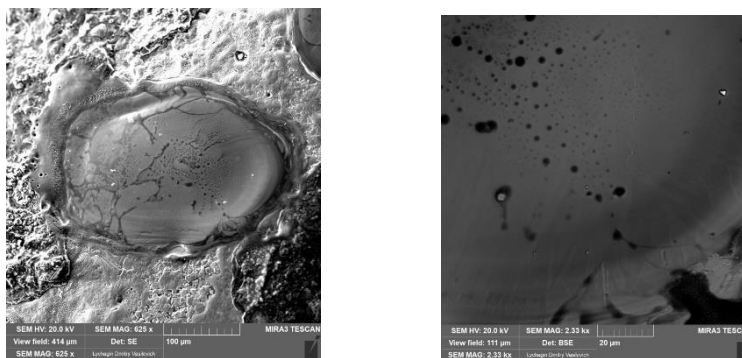


Рис. 10 Микроизображение лазерного пятна

Для поиска наночастиц CeO_2 в области лазерной абляции поверхность рассматривали при большом увеличении и проводили энергодисперсионный анализ. Результаты исследования приведены на рис. 8. Видна «лунка» размером около 2,5 мкм, в центре которой расположена область, содержащая церий и большое количество кислорода. В других областях церий не обнаруживается. С высокой вероятностью можно утверждать, что это исходная частица CeO_2 , слабо поглощающая излучение с длиной волны 1,06 мкм. Наличие «лунки» в форме круга может быть связано с образованием, при формировании сварного шва, интерметаллидных соединений между церием, железом или хромом, хорошо поглощающим лазерное излучение. Металл в близлежащих к «лунке» областях не подвержены деструкции.

Хотя оксиды церия и урана имеют близкие теплофизические свойства, но значительно различаются оптическими свойствами [15]. В отличие от CeO_2 , оксид урана значительно лучше поглощает излучение длиной волны 1,06 мкм. Поэтому можно предположить, что наночастицы UO_2 будут селективно испаряться из металлической матрицы в фокальной плоскости лазерного луча.

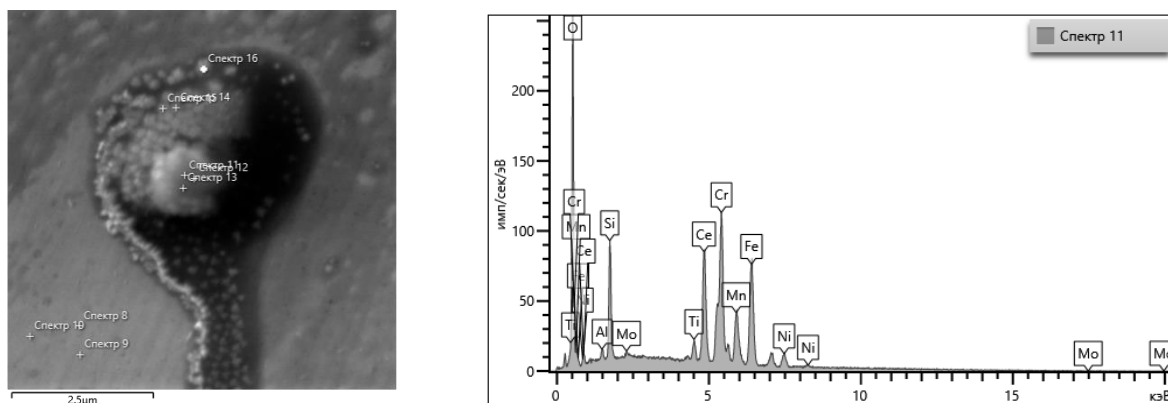


Рис. 11 Микроизображение и энергодисперсионный спектр поверхности

При проведении измерений использовались приборы KLA Tenkor MicroXAM-100 и МПТ-5 центров коллективного пользования ТГУ и ИФПМ.

Выводы

Результаты проведенных исследований позволяют сформулировать следующие основные результаты.

1 Установлено, что при интенсивности от 64 до 100 МВт/см² импульса лазерного излучения длительностью 1-2 мс и длиной волны 1,06 мкм удаление наночастиц UO₂ с поверхности трубки твэла, удерживаемых силами Ван-дер-Ваальса, не приводит к отбраковке твэлов по ТУ из-за формирования глубоких кратеров.

2 Показано, что с помощью импульсного лазерного излучения 1,06 мкм возможно селективное испарение микрочастиц CeO₂, частично внедренных в поверхностный слой металла. Для испарения из поверхностного слоя сварного шва твэла наночастиц UO₂ и PuO₂ необходимо применять импульсное лазерное излучение с длиной волны 10,6 мкм.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Цель данного раздела ВКР заключается в оценке конкурентоспособности и ресурсоэффективности научной разработки метода лазерной очистки поверхности металлов от наночастиц, в том числе внедренных в металл РАО.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- произвести анализ конкурентных технических решений проекта;
- выполнить планирование научно-исследовательских работ;
- построение графика Ганта.
- определить бюджет научного проекта;
- определить ресурсоэффективность проекта;

Потенциальные потребители результатов исследования

В данной научно-исследовательской работе изучается метод лазерной очистки поверхности металлов от наночастиц, в том числе внедренных в металл РАО.

Целевым рынком данного исследования будет являться государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». В частности, компания «ТВЭЛ».

3.1 Анализ конкурентных технических решений

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

Оценочная карта анализа представлена в таблице 3.1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot b_i, \quad (3.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

b_i – балл i -го показателя.

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Помехоустойчивость	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2.Экологичность	0,18	5	3	3	0,9	0,54	0,54
3.Надежность	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
4.Простота эксплуатации	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3

5.Экономичность	0,09	5	3	3	0,45	0,27	0,27
Экономические критерии оценки эффективности							
1.Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
2.Уровень проникновения на рынок	0,07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
3.Цена	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
4.Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
5.Послепродажное обслуживание	0,06	5	3	2	0,3	0,18	0,12
6.Финансирование научной разработки	0,03	4	5	4	0,12	0,15	0,12
7.Срок выхода на рынок	0,04	5	4	4	0,2	1,16	0,16
8.Наличие сертификации разработки	0,06	4	5	4	0,24	0,3	0,24
Итого	1	62	52	46	4,84	3,81	3,44

Использованный в работе метод лазерной очистки поверхности металлов от наночастиц, в том числе внедренных в металл РАО является оптимальным для использования в практических целях.

3.2 SWOT-анализ

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

Он проводится в несколько этапов.

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.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1.Экологичность технологии; С2.Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний предлагаемой технологии; С3.Маленький срок получения результатов при проведении научного исследования.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Недостаток финансовых средств; Сл2. Отсутствие прототипа научной разработки
Возможности: В1.Появление дополнительного спроса на новый продукт; В2.Повышение стоимости конкурентных разработок; В3.Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.		
Угрозы: У1.Отсутствие спроса на новые технологии производства; У2.Несвоевременное финансовое обеспечение.		

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа.

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. Пример интерактивной матрицы проекта представлен в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Интерактивная матрица проекта

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

Слабые стороны проекта			
Возможности проекта		Сл.1	Сл.2
	B1	-	+
	B2	-	0
	B3	-	-

Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		C1	C2	C3
	У1	+	0	–
	У2	0	+	–

Слабые стороны проекта			
Угрозы проекта		Сл.1	Сл.2
	У1	+	+
	У2	+	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, или слабых сторон и возможностей и т.д. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в бакалаврской работе (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Итоговая матрица SWOT – анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1.Экологичность технологии; С2.Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний предлагаемой технологии; С3.Маленький срок получения результатов при проведении научного исследования.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Недостаток финансовых средств; Сл2.У руководства НИР проблемы с материально-техническим обеспечением
Возможности: В1.Появление дополнительного спроса на новый продукт; В2.Повышение стоимости конкурентных разработок; В3.Использование научно-исследовательских достижений ТПУ.	Из данной комбинации видно, что существует возможность создания надежного и экономически выгодного способа очистки поверхности твэлов от наночастиц и РАО.	В рамках данной работы требуется высокотехнологичное и дорогостоящее оборудование, однако отсутствие прототипа научной разработки может существенно увеличить срок проведения научных работ.
Угрозы: У1.Отсутствие спроса на новые технологии производства; У2.Несвоевременное финансовое обеспечение..	Проведя анализ сильных сторон и угроз, видно, что вышеуказанные сильные стороны проекта могут существенно понизить процент угроз исследования.	Несвоевременное финансовое обеспечение и отсутствие спроса на новые технологии производства могут привести к недостатку финансовых средств. Чтобы снизить уровень этих угроз работа должна быть востребована в настоящее время. Также,

		отсутствие прототипа научной разработки может привести к снижения спроса на данную технологию.
--	--	--

Из таблицы SWOT-анализа можно выделить, что метод лазерной очистки поверхности металлов от наночастиц может встретиться с проблемами финансового обеспечения и отсутствия спроса на технологии, но данный метод является решением актуальной проблемы по РАО и их хранением. Также существуют сложности с высокотехнологическим и дорогостоящим оборудованием, но имеющегося оборудования достаточно для проведения начальных исследовательских работ.

3.3 Планирование научно-исследовательских работ

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы дипломной работы	Руководитель
	2	Анализ актуальности темы	Руководитель, студент
Выбор направления исследований	3	Поиск и изучение материала по теме	Руководитель, студент
	4	Выбор направления исследования	Руководитель
	5	Календарное планирование работ	Руководитель
	6	Подбор нормативных документов	Руководитель, студент
	7	Изучение экспериментальной методики	Студент

Теоретические и экспериментальные исследования	8	Исследование механизмов образования кратеров на поверхности стали при лазерном воздействии	Руководитель, студент
Обобщение и оценка результатов	9	Анализ результатов	Руководитель, студент
	10	Заключение	Студент
	11	Оформление пояснительной записки к ВКР	Студент
	12	Подготовка к защите ВКР	Студент

3.3.1 Определение трудоёмкости выполнения работ

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

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{махи}}{5}, \quad (3.2)$$

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

$t_{мини}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{махи}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}, \quad (3.3)$$

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

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

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

3.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3.4)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (3.5)$$

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнитель и	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ож}$, чел-дни			
Составление и утверждение темы дипломной работы	4	9	6	Р	3	4
Анализ актуальности темы	2	7	4	Р, С	2	3
Поиск и изучение	4	19	10	Р, С	5	7

материала по теме						
Выбор направления исследования	3	5,5	4	Р	2	3
Календарное планирование работ	2	2	2	Р	1	1
Подбор нормативных документов	9	41,5	22	Р, С	11	16
Изучение экспериментальной методики	5	12,5	8	С	4	6
Исследование механизмов образования кратеров на поверхности стали при лазерном воздействии	20	55	34	Р, С	17	25
Анализ результатов	5	12,5	8	Р, С	4	6
Заключение	6	16	10	С	5	7
Оформление пояснительной записки к ВКР	8	38	20	С	10	15
Подготовка к защите ВКР	8	23	14	С	7	10
Итого:			142		71 Р/С 25/46	105 Р/С 37/68

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни, все значения занесены в таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				февр.			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение темы дипломной работы	Р	4	■											
2	Анализ актуальности темы	Р, С	3		■										
3	Поиск и изучение материала по теме	Р, С	7		■			■							
4	Выбор направления исследования	Р	3			■									
5	Календарное планирование работ	Р	1					■							
6	Подбор нормативных документов	Р, С	16				■	■							
7	Изучение экспериментальной методики	С	6						■						
8	Исследование кратеров на поверхности стали при лазерном воздействии	Р, С	25					■	■						
9	Анализ результатов	Р, С	6							■					
10	Заключение	С	7								■				
11	Оформление пояснительной записки к ВКР	С	15									■	■		
12	Подготовка к защите ВКР	С	10											■	

■ – Студент; ■ – Руководитель.

3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

- материальные затраты НТИ;

- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;

- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

3.4.1 Расчёт материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта данные сведены в таблицу 3.8:

Таблица 3.8 – Расчет материальных затрат

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Тетранитропентаэритрит (ТЭН)	В виде порошка	800 мг	1	800
Бумагаофисная	SvetoCopy, A4	150 листов	1,5	225
Картридж для принтера	Epson T0921, 250 стр.	1 шт	1090	1090
Интернет	Fibrenet, стандартный пакет	3 месяца	350	1050
Ручка	Простая	1 шт.	20	20
Тетрадь	96 листов	1 шт.	25	25
Всего за материалы				3210
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				160,5
Итого по статье C_m				3370,5

3.4.2 Расчёт затрат на специально оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по

конкретной теме. В данной работе используется оборудование, приобретенное ранее. Амортизационные отчисления за период использования оборудования рассчитываются по формуле и приведены в таблице 3.9:

$$C_A = \Phi_n \cdot H_A \cdot T_{об} / F_{\partial}, \quad (3.6)$$

где Φ_n стоимость оборудования, руб.

H_A -норма амортизации, %.

$T_{об}$ - продолжительность использования оборудования за время проведения НИР, $T_{об}=20 \cdot 8=160$ ч.;

F_{∂} - годовой действительный фонд рабочего времени.

Таблица 3.9 – Расчет затрат на спецоборудование для научных работ»

№	Наименование оборудования	Φ_n , руб.	H_A , %	$T_{об}$, ч.	F_{∂} , ч.	C_A , руб.
1	Фотоэлектронный умножитель ФЭУ-118	15000	20	160	1784	269,0
2	Монохроматор МДР-23	180000	11	160	1784	1775,8
3	Фотоаппарат Sony α500	20000	15	160	1784	269,1
4	Осциллограф Tektronix DPO 3034	100000	10,4	160	1784	932,7
5	Ускоритель электронов	150000	10,4	160	1784	1399,1
6	Микроскоп МБС-10	18000	15	160	1784	242,1
7	Лазер YAG: Nd	300000	10,4	160	1784	2798,2
8	Остальная аппаратура	10000	9	160	1784	80,7
Итого:						7766,7

3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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 окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

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

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (3.7)$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Т_p, \quad (3.8)$$

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

$Т_p$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (3.9)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

F_d – количество рабочих дней в месяце (среднее количество рабочих дней – 25);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-ти дневная неделя.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней	119	119
- выходные дни	105	105
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	24
- невыходы по болезни	-	-

Количество рабочих дней	199	223
Действительный годовой фонд рабочего времени (час)	1592	1784

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

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (3.10)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы;

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

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

Данные для расчета: Оклад у научного руководителя – 33162 руб., оклад у инженера 14874р.

1. Действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (руководитель – 199 дн., инженер – 223 дн.).

2. Коэффициент дополнительной заработной платы 15%

3. Районный коэффициент – 30%;

Определяем основную заработную плату для инженера:

$$Z_{дн} = \frac{14874 \cdot 11,2}{223} = 747 \text{ руб./день}$$

$$Z_{осн} = 747 \cdot 61 = 45569 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата инженера:

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 45569 = 6835 \text{ руб.}$$

Итого затраты на оплату труда:

$$Z_{общ} = 45569 + 6835 = 52404 \text{ руб.}$$

Общая сумма заработной платы с учетом районного коэффициента:

$$Z_{общ} = 52404 \cdot 1,3 = 68125 \text{ руб.}$$

Теперь рассчитаем основную заработную плату научного руководителя:

$$Z_{дн} = \frac{33162 \cdot 10,4}{199} = 1733 \text{ руб./день}$$

$$Z_{осн} = 1733 \cdot 41 = 71056 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата научного руководителя:

$$З_{дон} = 0,15 \cdot 71056 = 10658 \text{ руб.}$$

Итого затраты на оплату труда:

$$З_{общ} = 71056 + 10658 = 81714 \text{ руб.}$$

Общая сумма заработной платы с учетом районного коэффициента:

$$З_{общ} = 81717 \cdot 1,3 = 106228 \text{ руб.}$$

Тогда, общая сумма затрат на заработную плату составит:

$$З_{общ} = 106228 + 68125 = 174353 \text{ руб.}$$

Расчет затраты на основную заработную плату сведен в таблицу 3.11.

Таблица 3.11 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад (руб.)	Средне вая заработная плата (руб./день)	Основная заработная плата (руб.)	Дополнитель ная заработная плата (руб.)	Заработная плата с учетом районного коэффициента (руб.)
1.Руководитель	33162	1733	71056	10658	106228
2. Инженер	14874	747	45569	6835	68125
Итого:					174353

3.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot З_{общ}, \quad (3.11)$$

$$C_{внеб} = 0,302 \cdot 174353 = 52654,6 \text{ руб.}$$

где $k_{внеб}=30,2\%$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.);

3.4.5 Накладные расходы

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

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (3.12)$$

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

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot 174353 = 139482 \text{ руб.}$$

3.4.6 Формирования бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 3.12.

Таблица 3.12 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	3370,5	пункт 3.5.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных	7766,7	пункт 3.5.2

(экспериментальных) работ		
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	174353	пункт 3.5.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	52654,6	пункт 3.5.4
5. Накладные расходы	139482	пункт 3.5.5
6. Бюджет затрат НТИ	372221,8	пункт 3.5.6

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 9). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{ипс.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (3.13)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{ипс.}i} = \frac{372221,8}{372221,8} = 1,$$

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

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

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

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (3.14)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 3.13).

Таблица 3.13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1
1. Производительность	0,3	5
2. Энергосбережение	0,4	5
3. Надежность	0,2	4
4. Материалоемкость	0,1	4
ИТОГО	1	

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 4,7. \quad (3.15)$$

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что научно-техническое исследование будет ресурсоэффективно при первом варианте исполнения проекта, т.е. при высокой производительности и энергоэффективности проекта.

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}}, I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} \text{ и т. д.} \quad (3.16)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл. 3.14) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} \quad (3.17)$$

Таблица 3.14 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7
2	Интегральный показатель эффективности	0,21

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

Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Оценочная карта сравнения технических решений конкурентов показала, что использование метода лазерной очистки поверхности металлов от наночастиц, в том числе внедренных в металл РАО является оптимальным для использования в практических целях.

2. В ходе планирования научно-исследовательских работ определён перечень работ, выполняемый рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: руководитель и студент. Согласно составленному плану работ длительность трудовой занятости в рабочих днях сотрудников исследовательского проекта составила 71 день (46 дней – занятость студента, 25 дней – длительность работы руководителя). На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, построенный на основе диаграммы Ганта, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – это оформление пояснительной записки к ВКР. А по суммарному времени – исследование кратеров на поверхности стали при лазерном воздействии.

3. Бюджет научно-технического исследования составил 372221,8 руб. Бюджет НТИ состоит из материальных затрат (3370,5 рублей), затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ (7766,7 рублей), затрат на оплаты труда (174353 рублей), отчислений во внебюджетные фонды 47249,6 рубля) и накладных расходов (139482 рубля).

4. Проведена оценка результатов ресурсоэффективности, которая составила 4,7 из 5, что говорит о хорошей эффективности реализации технического проекта.

6. Капиталовложения в размере 372221,8 рублей позволят реализовать разработанный метод лазерной очистки поверхности металлов от наночастиц, в том числе внедренных в металл РАО. Установка позволит дезактивировать поверхность твэлов при этом минимизировав РАО.

4 Социальная ответственность

Введение

При производстве ТВЭЛов с мокс-топливом, одной из контрольных операций, является измерение поверхностного загрязнения α -активными радионуклидами. Поэтому попадание даже мельчайших частиц топлива на внешнюю поверхность трубки ТВЭЛА, вносит большое α -загрязнение.

Технология производства ТВЭЛА, предусматривает в себя загрузку трубки топливным столбом, при которой микрочастицы топлива остаются на торце трубки и в последующем привариваются заглушкой для герметизации. В результате неизбежно формируется загрязнение поверхности ТВЭЛА в районе сварного шва заглушки. Загрязнение ТВЭЛА представляет из себя частицы мокс-топлива находящиеся на поверхности трубки, а также включения частиц топлива в сварочный шов заглушки ТВЭЛА на различную глубину.

Целью работы является оптимизация параметров импульсного лазерного воздействия для удаления дисперсных частиц из поверхностного слоя оболочки ТВЭЛА.

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.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации. В этом документе указано, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация

профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

В трудовом кодексе Российской Федерации говорится, что нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником.

4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

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 [16].

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 [16].

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 [16].

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 [16]. 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.

4.2 Производственная безопасность

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов (таблица 4.1), которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

Таблица 4.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Эксперимент	Работа на ПК	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2.Превышение уровня шума	-	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки
3.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
4.Лазерное излучение (прямое, рассеянное, зеркальное или диффузно отраженное)	-	+	-	ГОСТ 12.1.040-83 ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения.
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	Требования к электрической безопасности устанавливаются ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
6.Психофизиологические факторы	-	-	-	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

4.3 Анализ вредных и опасных производственных факторов

4.3.1 Микроклимат

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений по ГОСТ 12.1.005-88 должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Требования к микроклимату [17]

Период года				Холодный	Теплый
		Оптимальная		22-24	23-25
Температура, °C	воздух а	Допустимая	Диапазон ниже оптимальных величин	20-21,9	21-22,9
			Диапазон выше оптимальных величин	24,1-25	25,1-28
	поверх ностей	Оптимальная		21-25	22-26
		Допустимая		19-26	20-29
Относительная влажность воздуха, %	Оптимальная			60-40	
	Допустимая			15-75	
Скорость движения воздуха, м/с	Оптимальная			0,1	
	Допустимая	Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более		0,1	
		Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более		0,1	0,2

Отклонение показателей микроклимата от нормы не вызывает повреждений или нарушений состояния здоровья, но может приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях соответствующего микроклимата. Периодически должен вестись контроль влажностью воздуха. В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования.

4.3.2 Производственный шум

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда, появление шумовой патологии. В таблице 4.3 приведены предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест.

Таблица 4.3 Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест

Вид трудовой деятельности	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Научная деятельность, конструирование и проектирование. Рабочие места в лабораториях для теоретических работ и обработки данных.	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства коллективной защиты (СКЗ) и средств индивидуальной защиты (СИЗ) [18].

К СКЗ относятся:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;

- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;

- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения.

В качестве СИЗ:

- применение спецодежды, спецобуви
- защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

4.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

По нормативам (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий) освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [19].

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5% [20].

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться:

- системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных;
- помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы;

- комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники;
- местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

4.3.4 Лазерное излучение

Действие лазерного излучения (ЛИ) на человека весьма сложно. Оно зависит от параметров ЛИ, прежде всего от длины волны, мощности (энергии) излучения, длительности воздействия, частоты следования импульсов, размеров облучаемой области и анатомо-физиологических особенностей облучаемой ткани (глаз, кожа) [28].

Согласно СНиП 58-04-91, по степени опасности генерируемого излучения лазеры подразделяются на четыре класса.

Класс 1 считается "безопасной для глаза", безрисковой группой. Для лазеров класса 1 не требуется никаких мер безопасности.

К классу 2 относятся видимые лазеры, испускающие излучение очень низкой мощности, которое не будет опасным, даже если вся мощность луча попадет в человеческий глаз и сфокусируется на сетчатке. Примерами лазеров класса 2 являются лазерные указки и некоторые регулировочные лазеры.

Лазеры класса 3 создают опасность для глаз, поскольку реакция естественного отвращения недостаточно быстра, чтобы ограничить экспозицию сетчатки безопасным в данный момент уровнем. В условиях случайной экспозиции опасность для кожи, обычно, не возникает. Примерами лазеров класса 3 являются многие исследовательские лазеры и военные лазерные дальномеры.

Лазеры класса 4 могут создать потенциальную опасность пожара, значительную опасность для кожи или опасность рассеянного отражения. Фактически, все хирургические лазеры и лазеры для обработки материалов, использующиеся для сварки и резки, если они не закрыты защитной оболочкой, относятся к классу 4 [21].

В лаборатории используется исследовательский импульсно – периодический твердотельный лазер YAG: Nd (длина волны 1,06 мкм на первой гармонике). Согласно СНиП 58-04-91, лазер относится к 3 классу опасности. Величины ПДУ при моноимпульсном воздействии лазерным излучением ($\lambda=1064$ нм, длительность импульса 10^{-8} с) составляют:

- для глаз $W_{\text{ПДУ}} = 10^{-7}$ Дж;
- для кожи $H_{\text{ПДУ}} = 50$ Дж/м².

Для снижения уровня лазерного излучения, действующего на человека, до величины ниже ПДУ используются средства коллективной и индивидуальной защиты [22]. Средства индивидуальной защиты должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.4.011-89 и маркироваться в соответствии с ГОСТ 12.4.115—82.

К СКЗ от лазерного излучения относится [23]:

- ограждения;
- блокировки;
- автоматические затворы;
- кожухи и др.

СИЗ от лазерного излучения включают:

- защитные очки (ЗН22-72-СЗС22, ЗНД4-72-СЗС22-СС23-1, ЗН62-Л17);
- защитные лицевые щитки (НФП2).

4.3.5 Электробезопасность

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества [24].

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие.

Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава.

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта.

Биологическое действие тока на живую ткань выражается в опасном возбуждении клеток и тканей организма, сопровождающемся непроизвольными судорожными сокращениями мышц. В результате такого возбуждения может возникнуть нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения.

В таблице 4.4 представлены значения предельно допустимых уровней напряжения и тока в зависимости от продолжительности воздействия на организм человека.

Таблица 4.4 – Предельно допустимые уровни напряжения и тока (ГОСТ 12.1.038-82)

Ряд тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые уровни, не более, при продолжительности воздействия тока, с											
		0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св. 1,0
Переменный 50 Гц	Напряжение, В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	Ток, мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6
Переменный 400 Гц	Напряжение, В	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	36
	Ток, мА												8
Постоянный	Напряжение, В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
	Ток, мА												15

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

Лаборатория, где находится блок питания лазера, лазер, ПЭВМ, электрические инструменты, комплекс управляющий ФЭУ, относится к помещению с особой опасностью поражения электрическим током.

Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением выше 1000 В являются изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ (площадки, изолирующие звенья телескопических вышек и пр.) [25].

Освобождение пострадавшего от действия тока напряжением свыше 1000 В может быть произведено только одним способом. Это отключение соответствующей части электрической установки специально обученными людьми. Пострадавшему следует оказать посильную доврачебную помощь [26].

4.3.6 Психофизиологические факторы

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Трудовая деятельность работников непроизводственной сферы относится к категории работ, связанных с использованием больших объемов информации, с применением компьютеризированных рабочих мест, с частыми принятиями ответственных решений в условиях дефицита времени, непосредственным контактом с людьми разных типов темперамента и т.д. Это обуславливает высокий уровень нервно-психической перегрузки, снижает функциональную активность центральной нервной системы, приводит к расстройствам в ее деятельности, развития утомления, переутомления, стрессу.

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – 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.

«Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»).

4.4 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

В производстве используются такие методы утилизации отходов, как захоронение.

В лаборатории в процессе работы образуются такие вещества как пыль, и аэрозоли, опасности они не несут, но при применении в производстве с РАО будут осаждаться опасные вещества, содержащие UO_2 и PuO_2 . Их невозможно переработать иным способом, поэтому они подлежат вывозу на полигоны для захоронения. К территории лицензированных могильников применяются особые экологические требования [27]:

- Место размещения должно быть с низким уровнем расположения грунтовых вод.
- Могильник должен быть расположен в сухой зоне: ниже или выше горизонта грунтовых вод.
- Не допускается строить могильники в местах, подверженных колебаниям уровня грунтовых вод.
- Необходимо избегать зон верхового дренажа для исключения стоков, которые могут размыть или затопить могильник.
- Не допускается использовать места с активными тектоническими процессами, с высокой сейсмической и вулканической активностью.
- Следует избегать районов с явными признаками поверхностных геологических процессов (эрозия, оседание, оползни, выветривание).
- Не допускается использование мест, в которых ведут или будут вести добычу полезных ископаемых.

- Не допускается размещать могильники на водосборных площадях подземных водных объектов, которые используют или могут быть использованы для питьевого или хозяйственно-бытового водоснабжения.

- Места размещения могильников должны быть удалены от населенных районов, мест отдыха населения, открытых водоемов и водопроводных магистралей.

- Не рекомендуется использовать места, где возможны демографические изменения, связанные с увеличением численности населения, или есть перспектива их использования.

Также стоит обратить внимание на утилизацию лазерных установок, приведение объекта (изделия) в безопасное состояние включает в себя следующие организационно-технические мероприятия:

- отделение взрыво- и пожароопасных компонентов, включая пиросредства и т.д.;

- слив из систем, коммуникаций и емкостей горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей;

- снятие аккумуляторов, топливных элементов и т.п.;

- нейтрализация систем самоликвидации объекта;

- извлечение узлов и деталей, содержащих опасные, в том числе токсичные, ядовитые вещества;

- сброс (слив) компонентов топлив и их химическая нейтрализация;

- выброс избыточного (газового) давления из емкости, магистралей.

Технико-технологические, безопасные (в том числе экологические), ресурсные и организационные особенности ликвидации устанавливают в нормативной, технической документации на конкретные объекты (виды изделий). По результатам приведения объекта в безопасное состояние составляют соответствующий акт, который утверждается руководителем предприятия - владельца объекта и направляется получателю в составе сопроводительной документации. Конкретные требования по этапам

устанавливают в документации в зависимости от вида ликвидируемых объектов [28].

4.5 Безопасность в ЧС

4.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект 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 [29]. 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.

4.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Наиболее характерной ЧС для данных условий работы является пожар. Пожар в рабочем помещении разработчика может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

К причинам неэлектрического характера относятся халатное и неосторожное обращение с огнём (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов).

К причинам электрического характера относятся:

- короткое замыкание;
- перегрузка проводов;
- искрение;
- статическое электричество.

Режим короткого замыкания – появление в результате резкого возрастания силы тока, электрических искр, частиц расплавленного металла, электрической дуги, открытого огня, воспламенившейся изоляции.

Причины возникновения короткого замыкания:

- ошибки при проектировании;
- старение изоляции;
- увлажнение изоляции;
- механические перегрузки.

Пожарная опасность при перегрузках – чрезмерное нагревание отдельных элементов, которое может происходить при ошибках проектирования в случае длительного прохождения тока, превышающего номинальное значение.

4.3.3 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 78 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 [30]. 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.

Выводы по разделу

В данном разделе были рассмотрены вопросы социальной ответственности, к которым относятся правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность, экологическая безопасность, а также безопасность в ЧС.

В первой части раздела рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

В подразделе «Производственная безопасность» проведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования и которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований, также рассмотрены мероприятия по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

В подразделе «Экологическая безопасность» приведен обзор возможного влияния объекта исследования на окружающую среду, проведен анализ влияния процесса исследования на окружающую среду, также были рассмотрены мероприятия по защите окружающей среды.

В заключительном подразделе «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» проведен анализ вероятной чрезвычайной ситуации (ЧС), которая может возникнуть на рабочем месте при проведении исследований. Помимо этого, были рассмотрены мероприятия по пожарной профилактике, а также представлен ход действий в случае внезапного пожарного возгорания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Hugel H., New solid-state lasers and their application potential, Optics and Lasers in Engineering, 34, 2000, 213—229.
2. Koechner W., Solid-state Laser Engineering, 2nd edn, Springer-Verlag, Berlin, 1988.
3. Dawes D.G., Growing crystals for solid state lasers, Lasers and Optronics, December
4. Ready J. and Farson D. (eds), Handbook of Laser Materials Processing, Laser Institute of America, Orlando, FL, 2003.
5. Naeem M., Material processing with super-modulation, Proc. ICALEO 2002, Laser Institute of America, Scottsdale, AZ, 2002
6. Naeem M., Welding performance of a 2kW continuous wave supermodulated Nd:YAG laser - increased weld speed, weld penetration and reduced porosity with supermodulated power, Proc. PICALO 2008, Laser Institute of America, Beijing, China, 2008.
7. Graham H., Throwing light on materials processing – an addition to laser family, TWI Bulletin, May-June 2006.
8. Александров В.Д., Шашков Д.П. Пищулин Д.Н. Лазерная обработка чугуновых изделий [Электронный ресурс] // МАДИ (ГТУ). – 2006. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11662252>, свободный. – elibrary (дата обращения: 20.05.2020)
9. Григорьянц А. Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1989. - 304 с.
10. Бровер А. В. Комплекс механизмов упрочнения металлических материалов при импульсной лазерной обработке // Перспективные материалы, 2008. № 1. С. 63-69.
11. Огин П. А. Структура и свойства зон перекрытия при лазерной закалке сталей и чугунов // Вектор науки ТГУ. 2015. № 2. С. 130-135.
12. Лосев В.Ф., Морозова Е.Ю., Ципилев В.П. Физические основы лазерной обработки материалов // ТПУ, 2011. С 21-23.

13. Heng Ban, Nicholas Roberts, Thomas Fronk, Mark R. McLellan. Characterization of the Thermal Resistance of Grain Boundaries of Cerium Oxide. Utah State University. 2017.
14. Бойко В.И., Жерин И.И., Каратаев В.Д., Недбайло Ю.В., Силаев М.Е. Методы и приборы для измерения ядерных и других радиоактивных материалов // МНТЦ «Ответственная наука», 2011 г.
15. [Электронный ресурс] // ultra-small plutonium oxide nanocrystals: an innovative material in plutonium science: сайт – 2014. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/263701307_Ultra-Small_Plutonium_Oxide_Nanocrystals_An_Innovative_Material_in_Plutonium_Science, свободный. – researchgate (дата обращения 09.05.2020).
16. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
17. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
18. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
19. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
20. Кнорринг Г. М. Осветительные установки - Ленинград: Энергоиздат, 1981.- 288 с.
21. ГОСТ Р 50723-94. Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий.
22. Трудовой кодекс Российской Федерации. Официальный текст. От 01.04.2019 г., Гл. 14, 15, 22.
23. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
24. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

25. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
26. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры
27. ГОСТ Р 52037-2003 Могильники приповерхностные для захоронения радиоактивных отходов. Общие требования
28. ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов
29. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
30. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.