

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

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»
Кафедра Прикладная физика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Влияние высокоинтенсивного облучения ионами азота низкой энергии на макроскопические свойства стали 40Х

УДК 539.2:539.1.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Б	Медведев Владислав Николаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий лаборатории №22	Рябчиков А.И.	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Меньшикова Е.В.	к. ф. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ ФТИ	Вагнер Александр Рудольфович	к. ф.- м. н.		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Общекультурные компетенции	
Р1	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.
Р2	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.
Р3	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.
Р4	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.
Р5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
Р6	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.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
Р8	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).
Р9	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.
Р10	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.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
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 образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический
 Направление подготовки Ядерные физика и технологии
 Кафедра Прикладная физика

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ПФ ФТИ
 _____ А.Р. Вагнер
 (Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А3Б	Медведеву Владиславу Николаевичу

Тема работы:

Влияние высокоинтенсивного облучения ионами азота низкой энергии на макроскопические свойства стали 40Х	
Утверждена приказом ректора	от 08.06.17 № 4112/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2016 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Плазменное азотирование при интенсивности ионного тока до 0,6 А/см ² , давление газа 0,4 Па Время разогрева 20 минут, обработки 60 минут Ускоряющее напряжение 1,2(4) кВ Интервалы между импульсами 4 мкс Используется сталь 40Х (низколегированная инструментальная сталь)
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	При разработке бакалаврской работы должны быть рассмотрены следующие вопросы: Аналитический обзор современных технологий азотирования Аналитический разбор метода используемого в работе Экспериментальное исследование свойств стали и анализ полученных результатов Экономическое обоснование проведения НИР. Выводы по работе. Заключение
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Экспериментальная часть	Заведующий лаборатории №22 Рябчиков А.И. д.ф-м.н.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, к.ф.н. Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	ассистент кафедры «Прикладная физика» Гоголева Т.С.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий лаборатории №22	Рябчиков А.И.	д.ф-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Б	Медведев В.Н.		

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

Институт Физико-технический
 Направление подготовки Ядерная физика и технологии
 Кафедра Прикладная физика
 Период выполнения Весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения бакалаврской работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.04.17	Составление и утверждение технического задания	7
25.04.17	Подбор и изучение материалов по теме	10
27.04.17	Выбор направления исследования	5
05.05.17	Проведение эксперимента	45
23.05.17	Анализ и описание результатов	30
30.06.17	Подготовка к защите ВКР	7

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ПФ	Рябчиков А.И.	д.ф. - м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ ФТИ	Вагнер А.Р.	к.ф. - м.н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А3Б	Медведеву Владиславу Николаевичу

Институт	ФТ	Кафедра	ПФ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Физика атомного ядра и частиц

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> – вредных факторов производственной среды: микроклимат, шум, вибрация, э.м. и ион. изл. от ПЭВМ – опасных факторов производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	– электробезопасность, пожаробезопасность, требования по охране труда при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективная защита и индивидуальные защитные средства)
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Татьяна Сергеевна	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Б	Медведеву Владиславу Николаевичу		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А3Б	Медведеву Владиславу Николаевичу

Институт	ФТ	Кафедра	ПФ
Уровень образования	Бакалавр	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	1. Норматив заработной платы 2. Стоимость расходных материалов 3. Стоимость расхода электроэнергии
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1. Коэффициенты для расчета заработной платы 2. Тариф на электроэнергию
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1. Отчисление во внебюджетные фонды 2. Расчет дополнительной заработной платы

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Структура работ в рамках научного исследования 2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования 3. Бюджет научно-технического исследования
2. Разработка календарного план-графика выполнения ВКР	1. Определение показателя технической готовности темы, длительности этапов, коэффициента календарности и продолжительности работ 2. Построение календарного план графика проведения ВКР
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1. Определение коэффициента социально-научного эффекта НИР 2. Определение коэффициента научно-технического эффекта дипломной работы 3. Оценка ресурсной эффективности НИР

Перечень графического материала:

1. Календарный план-график выполнения ВКР

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. Менеджмент	Меньшикова Е.В.	к.фил.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3Б	Медведев Владислав Николаевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 73 с., 9 рис., 13 табл., 17 источников.

Работа посвящена исследованию некоторых закономерностей и особенностей ионно-лучевого азотирования стали 40Х высокоинтенсивными пучками ионов с плотностью тока в несколько сотен миллиампер на сантиметр квадратный. Кратко описана экспериментальная установка и система формирования пучка ионов азота высокой интенсивности. Получены данные о существенном распылении поверхностного слоя мишени ионами азота при экстремально высоких дозах ионного облучения. Кратер, сформированный на поверхности облученной мишени указывает на неравномерное плотности ионного тока по сечению пучка. Это обстоятельство было использовано для того чтобы исследовать в одном эксперименте влияние дозы ионного облучения при фиксированной температуре образца и энергии азота на накопление имплантируемой примеси, характеристики модифицированного слоя, микротвёрдость и износостойкость поверхностных слоёв.

В процессе исследования проводились измерения микротвёрдости, трибологических параметров, снимался профиль поверхности после обработки, измерялись показатели износостойкости. Был проведён анализ полученных результатов.

Область применения: Обработка изделий из стали, с целью повышения их износостойкости

Значимость работы: Разработка нового метода азотирования

Выпускная квалификационная работа выполнена в лаборатории №22 ФТИ ТПУ, измерения проведены в г. Томске.

Ключевые слова: Ионная имплантация, ионы азота, пучки ионов высокой интенсивности, модифицирование свойств поверхности, сталь 40Х

Определения

Трибометрия – система методов и средств измерения сил трения, износа и несущей способности трущихся тел. Измерения, полученные непосредственно в процессе фрикционного взаимодействия, позволяют простыми расчетами определить величины коэффициента трения, интенсивности изнашивания, допустимых нагрузок, скоростей и температур.

Аустенит (γ -фаза) – высокотемпературная гранцентрированная модификация железа и его сплавов.

Оглавление

Реферат	10
Определения	11
Оглавление.....	12
Введение.....	14
1. Обзор литературы	16
1.1 Используемые для азотирования стали	16
1.2 Основные методы азотирования	17
1.3 Механизмы азотирования при низких энергиях ионов	19
2. Экспериментальная установка и методика исследований.....	26
2.1 Схема высокоинтенсивного источника ионов азота	26
2.2 Подготовка образцов	27
2.3 Исследуемые свойства.....	28
2.4 Оборудование для исследований свойств.	28
2.4.1 Нанотвердомер (NANO Hardness Tester NHT-S-AX-000X)	28
2.4.2 Высокотемпературный трибометр (PC-Operated High Temperature Tribometer THT-S-AX0000)	29
2.4.3 Трехмерный бесконтактный профилометр (Micro Measure 3D Station) .	29
2.4.4 Оже-электронный спектрометр «Шхуна-2».....	29
3. Экспериментальные результаты.....	31
3.1 Распределение концентрации имплантированного азота по глубине	33
3.2 Измерение микротвёрдости	35
3.4 Результаты исследований.....	37
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ..	38
4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных	38
4.1.1. Потенциальные потребители	38
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	39
4.1.3. SWOT-анализ.....	41
4.2. Планирование научно-исследовательских работ	42

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования	42
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	44
4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования	45
4.2.4. Календарный план-график в виде диаграммы Ганта	47
4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	49
4.4.1. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	49
4.4.2. Основная заработная плата исполнителей темы	50
4.4.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	52
4.4.4. Накладные расходы	53
4.4.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	53
4.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	54
5 Социальная ответственность	57
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	58
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе с ПЭВМ и оборудованием	60
5.2.1 Организационные мероприятия	60
5.2.2 Технические мероприятия.....	60
5.2.3 Условия безопасности работы.....	63
5.3 Электробезопасность	65
5.4 Пожарная и взрывная безопасность.....	68
Заключение	71
Список использованных источников	72

Введение

Азотирование – это технологический процесс химико-термической обработки, заключающийся в насыщении поверхности различных металлов или сплавов азотом в азотирующей среде (обычно NH_3). Слой изделия на поверхности, насыщенный азотом, содержит растворённые нитриды, вследствие чего приобретает повышенную коррозионную стойкость и хорошие показатели твёрдости.

Существующие методы азотирования имеют свои преимущества и недостатки, но общая черта – высокая длительность процесса насыщения поверхности азотом. Каталитическое газовое азотирование, которое является самым технически просто реализуемым и распространённым методом, может занимать до 70 часов. Азотирование в солевых растворах проходит быстрее, и качество слоя ничем не хуже, но сами соли являются ядовитыми и требуют особых условий хранения и переработки [1].

Так же применяется азотирование ионами плазмы. Применяется два принципиально различающихся метода азотирования. Азотирование с погружением в плазму и азотирование ионным пучком. Плазменное азотирование представляет интерес, так как позволяет более точно регулировать параметры азотирования.

Одним из недостатков используемых плазменных установок является низкие глубины проникновения азота в сталь. Это может быть связано как раз с тем, что при обработке используются низкие энергии. Но по ряду предположений плотность ионного тока должна оказывать значительное влияние на глубину. Следовательно, целесообразно использовать токи высокой плотности.

Данная область плотностей ионного тока применительно к методам азотирования ранее не изучалась. Изучение данной области имеет большой практический интерес, так как значительное повышение плотности тока может ускорить процесс азотирования в несколько раз по сравнению с

существующими методами. Кроме того, возможно увеличение глубины азотированного слоя за счёт радиационно-стимулированной диффузии, скорость которой возрастает с увеличением плотности ионного тока [2].

Цель исследования: Изучение влияния высокоинтенсивного облучения ионами азота с плотностью тока до нескольких сотен mA/cm^2 , низкой энергии на макроскопические свойства стали 40Х

Задачи:

- рассмотреть состояние вопроса на момент начала работ по модифицированию материалов ионами азота из плазмы;
- провести эксперименты по азотированию образцов стали 40Х при высокой интенсивности пучка ионов азота;
- изучить характеристики кратера на образце после ионного распыления;
- изучить распределение азота по глубине образца;
- исследовать изменение микротвёрдости на поперечных шлифах образцов;
- исследовать изменение износостойкости ионно-модифицированной поверхности стали 40Х;
- провести анализ полученных результатов.

1. Обзор литературы

В настоящее время являются актуальными вопросы, взаимосвязанные с повышением надёжности и долговечности машин и механизмов, установок, приборов, а также повышение качества и эффективности их работы. Решение этих задач, прежде всего, связано с упрочнением поверхностных слоев изделий, что будет способствовать уменьшению их износа.

Свойства поверхности можно изменить различными способами: нанесением на поверхность нового материала с необходимыми свойствами или изменением состава поверхностного слоя металла, в результате которой на поверхности изделия образуется новый сплав с лучшими показателями износостойкости, чем сам металл.

Наиболее распространенными методами в настоящее время являются: азотирование, нитроцементация, карбонитрирование и другие. Сейчас уделяется особое внимание разработке наукоемких и ресурсосберегающих технологий, позволяющих получать естественно армированные поверхности материалов с высокой конструкционной прочностью, а также сочетать в одном материале различные физические свойства (высокая прочность, высокая коррозионная и износостойкость, высокие антифрикционные свойства) [1].

1.1 Используемые для азотирования стали

Хорошим примером, имеющим ряд необходимых свойств, являются аустенитные нержавеющие стали. Аустенитные нержавеющие стали содержат высокое количество хрома и являются распространённым техническими материалами (главным образом из-за их коррозионной стойкости). Они редко используются в ситуациях, связанных с большим износом материала, так как обладают плохой поверхностной твердостью и малой несущей способностью. Большие усилия были предприняты для улучшения их поверхностных свойств с помощью методов азотирования. Аустенитные нержавеющие стали обычно считаются трудными кандидатами на азотирование, из-за химического

взаимодействия азота с легирующими элементами.

Ориентиром для конечной толщины упрочнённого слоя должны служить значения на уровне 0,3-0,6 мм. Нужно помнить о том, что при увеличении толщины слоя твёрдость снижается. Снижения показателей твёрдости вызывается коагуляцией нитридов [1].

Практически все коррозионностойкие стали могут азотироваться в плазме. Легированные стали с содержанием хрома, никеля, алюминия и молибдена после азотирования имеют поверхностную твердость HV 850–1200. Это достигается за счет образования мелкодисперсных нитридов на поверхности детали (химических соединений азота с элементами AlN, CrN, Cr₂N, MoN).

Депассивация поверхности при ионном азотировании достигается катодным распылением пассивирующих оксидных плёнок. При катодном распылении полная и равномерная депассивация происходит уже во время нагрева до температуры изотермической выдержки.

При азотировании сложнолегированных сталей проводят дополнительную обработку для депассивации при сниженной плотности тока и повышенном напряжении на электродах [1].

При азотировании в плазме тлеющего разряда обычно используемые температуры 530-580 °С. Температуры такого порядка приводят к ухудшению коррозионных свойств. Это происходит из-за того, что при температурах выше 480 °С, обычно используемых для азотирования, происходит осаждение CrN приводящего к истощению Cr из матрицы образца. Это вызывает сильное снижение коррозионной стойкости, что снижает положительный эффект улучшения износостойкости [3, 4].

1.2 Основные методы азотирования

В промышленности используются следующие методы азотирования:

– Газовое азотирование

При газовом азотировании источником атомов азота является газ,

обычно аммиак (NH_3), поэтому сам процесс иногда называют азотирование аммиаком. Когда аммиак входит в контакт с нагретой деталью, он диссоциирует на азот и водород. Также используются различные катализаторы для ускорения диссоциации. Затем азот диффундирует на поверхность материала, создавая слой нитрида.

Азотирование стали впервые предложено акад. Н. П. Чижевским. Процесс азотирования стальных деталей заключается в поверхностном насыщении азотом в среде аммиака (NH_3) при температурах нагрева $500-700^\circ C$ в течение $20-90$ ч. Глубина азотированного слоя допускается в пределах $0,2-0,8$ мм.

– Солевое азотирование азотной кислоты

В азотировании солевыми ваннами среда, являющаяся источником азота, представляет собой азотсодержащую соль, например, цианистые соли. Преимуществами солевого азотирования является то, что он достигает более высокой диффузии за тот же период времени по сравнению с любым другим методом, используемым в промышленности.

– Плазменное азотирование

Плазменное азотирование, известное также как ионное азотирование, плазменное ионное азотирование или нитрирование тлеющим разрядом, является промышленной поверхностной упрочняющей обработкой металлических материалов.

Технология насыщения металлических изделий в азотсодержащем вакууме (примерно $0,01$ атм.), в котором возбуждается тлеющий электрический разряд. Анодом служат стенки камеры нагрева, а катодом – обрабатываемые изделия. Для управления структурой слоя и механическими свойствами слоя применяют (в разные стадии процесса):

- изменение плотности тока
- изменение расхода азота
- изменение степени разрежения

- добавки к азоту особо чистых технологических газов (Водород, Аргон, Метан)

При плазменном азотировании реакционная способность азотирующих сред обусловлена не температурой, а ионизированным газом. В этой технике интенсивные электрические поля используются для генерации ионизованных молекул газа вокруг поверхности, подлежащей азотированию. Газ, используемый для создания плазмы, обычно представляет собой чистый азот, поскольку не требуется спонтанное разложение (как в случае газового азотирования с аммиаком).

Поскольку азот в плазме представлен в виде ионов сразу, в отличие от газового азотирования или солевого, то эффективность азотирования не зависит от температуры напрямую. Что позволяет проводить азотирование в широком интервале температур. Например, при умеренных температурах (420°C) нержавеющие стали могут быть азотированы без образования осадков нитрида хрома и, следовательно, сохраняют свои коррозионностойкие свойства [5].

Основной газ, используемый при плазменном азотировании – N_2 , но так же могут добавлять Ar и H_2 . Эти газы могут использоваться дополнительно для очистки поверхности, которую должны азотировать. Это процедура необходима для удаления оксидной плёнки с поверхности изделия, а также для удаления любых других примесей, которые могли остаться на мишени [4].

1.3 Механизмы азотирования при низких энергиях ионов

После всего вышеизложенного, интересно будет уточнить, какие именно механизмы ответственны за процесс азотирования.

Для начала, стоит уточнить, почему должны иметь место какие-то особые механизмы продвижения азота в веществе. Из соотношения Бете-Блоха, для линейных потерь на ионизацию, длина пробега в стали для ионов азота с энергией порядка нескольких кэВ составит несколько нанометров. Соотношение Линхарда-Шарффа для низкоэнергетических тяжёлых заряженных частиц дало такой же результат. Но как известно, плазменное

азотирование даёт глубины порядка нескольких микрометров и может достигать до десятков и сотен микрометров. Из этого можно сделать вывод, что должны существовать особые механизмы переноса азота вглубь вещества.

Физические модели ионного азотирования изучались на протяжении десятилетий, и было предложено несколько механизмов. Худис предположил, что бомбардировка ионами высокой энергии ответственна за высокие скорости диффузии азота, которые не могут быть объяснены обычными диффузионными теориями. Страк, а затем Брокман и Тулер предположили, что ионная бомбардировка генерирует вакансии на поверхности металла и диффундирует в металл вместе с ионами в виде пар ионов-вакансий. Поскольку вакансии имеют низкую энергию активации, азот рассеивается быстрее, чем в металле без ионной бомбардировки, как при газовом азотировании. Ионная модель с выделением вакансий широко принята в ионном азотировании и предполагает, что интенсивная бомбардировка материала, содержащего высокоэнергетические частицы (ионы и активированные нейтралы), является движущей силой для быстрой диффузии азота по сравнению с обычной диффузией, следовательно, увеличение либо энергии ионов, либо плотности тока (или обоих из них) приведет к дальнейшему усилению диффузии. Наблюдаемое явление, что коэффициент диффузии пропорционален плотности ионного тока, подтверждает эту ионную теорию. Однако Тиббетс показал, что за азотное азотирование отвечают только нейтральные атомы азота. Szasz и др. позднее разработал модель Тиббетца и предположил, что термохимическая реакция является основным механизмом ионного азотирования, в котором диссоциативная реакция адсорбции азота, чему способствует добавление водорода имеет место и приводит к последующей диффузии атомов азота.

В статье Вея, от 1996 года, была изложена идея модели, объясняющей радиационно-стимулированную диффузию в стали [2].

При ударе ионы азота, обладающие достаточной энергией для преодоления поверхностных барьеров, переносят свою кинетическую энергию на мишень, что приводит к нагреву мишени. Ион молекулярного азота при

взаимодействии с поверхностью диссоциируется до атомарного азота, а затем имплантируется в поверхность. Обычно глубина имплантации невелика, что показано выше. Но в этой области поддерживается высокая концентрация атомов азота, что создаёт высокий градиент концентрации и способствует последующей диффузии азота с высокой скоростью вглубь поверхности, когда деталь нагревается вследствие переноса кинетической энергии ионами. Эта модель предполагает, что энергия ионов необходима для преодоления поверхностного барьера и имплантации внутрь поверхностного слоя. Необходимым условием глубинного ионного азотирования является также обеспечение распыления поверхности, исключающее формирование оксидных поверхностных слоёв. В этот процесс может вносить вклад, как энергия ионов, так и плотность ионного тока. Вей убедительно показал, что глубина имплантации может быть намного меньше, даже если используется высокая энергия ионов (например, 0,1 мкм для 100 кэВ N), чем глубина проникновения ионов низкой энергии (обычно более 1 мкм при энергиях ионов менее одного кэВ). Важно отметить, что атомы азота в этих глубоких областях не имеют «памяти» их энергетической истории, и их перенос определяется исключительно диффузионными процессами. В отличие от энергии ионов, плотность ионного тока гораздо важнее, потому что большой поток ионов обеспечивает имплантированную область с высокой концентрацией атомов азота и, следовательно, поддерживает значительный градиент концентрации примеси и её быструю диффузию, как это предсказывает традиционная диффузионная теория.

Толщина имплантированного слоя незначительно увеличивается с увеличением энергии ионов до примерно 1-2 кэВ и затем уменьшается по мере дальнейшего увеличения энергии из-за низкой плотности тока, которая должна использоваться для получения такой же температуры обработки [2]. Что касается диффузии азота в сталях, то в работах Williamson et al [6, 7] исследовали данные по диффузии азота и предложили диффузионную модель, учитывающую легирование материала Cr и другими элементами. В

аустенитных нержавеющей сталей, например сталь 40X, высокий поток азота занимает все места Cr быстро и формирует прочные связи YN на придонной поверхности, таким образом, позволяя поступающему азоту диффундировать через этот слой с намного более высокой скоростью, так же, как если бы он диффундировал в чистом Fe. При обработке образцов в условиях низкой плотности ионного тока азота оказывает недостаточно для связывания всего Cr. Имплантируемый азот предположительно должен диффундировать через азотсодержащий слой, в котором имеется большое количество центров Cr, что существенно замедляет диффузию азота.

Ионная имплантация азота при относительно высоких плотностях в несколько mA/cm^2 исследовалась и в работе [8]. Ионно-лучевая обработка осуществлялась с помощью ионного источника с замкнутым дрейфом электронов. Источник генерировал азотный пучок ленточного типа длиной 120 мм и шириной 2,5 мм. Для равномерности обработки применялись система механического сканирования обрабатываемых поверхностей, которая обеспечивала точность дозы облучения не менее 93%. Имплантация ионов в поверхность проводилась в течении двух часов при энергии 1-3 кэВ и плотности ионного тока $2 \text{ mA}/\text{cm}^2$. Суммарная доза падающих ионов составила при такой обработке $\sim 3 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-2}$. Температура образцов в процессе ионно-лучевой обработки составляла 670-770 °К (400-600 °С). Контроль Температуры осуществлялся с помощью термопар. Отличительной особенностью является то, что в данной работе образцы предварительно закаливали. Полученные зависимости представлены на рисунок 1.1 и рисунок 1.2.

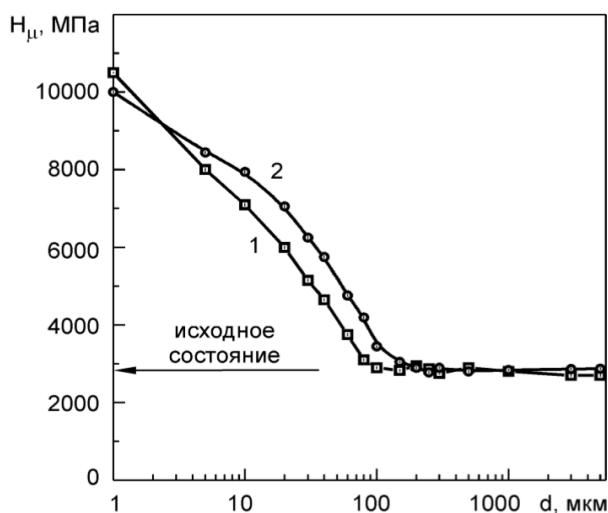


Рисунок 1.1 – Зависимость

микротвёрдости от расстояния до унесенного слоя от времени ионно-имплантированной поверхности испытания при трения сталь 40Х-стали 40 х; температура обработки 670

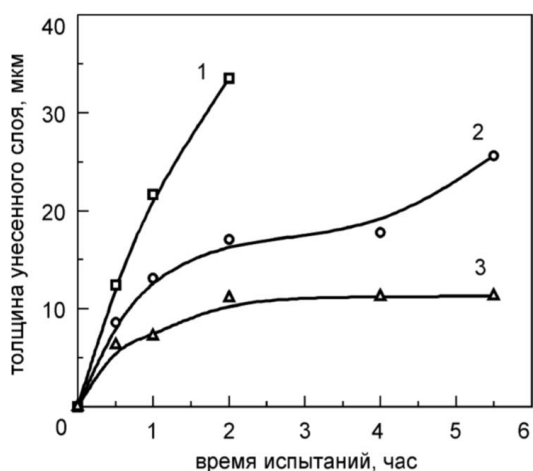


Рисунок 1.2 – Зависимость

ШХ15; 1-исходное состояние, после температура обработки 670 (1), 770 (2) температура обработки 670 (2), 770 (3)

Экспериментально установлено, что низкоэнергетическое ионно-лучевое модифицирование азотом низколегированной стали 40Х при 670 и 770 °К приводит к образованию диффузионных слоёв толщиной 40-80 мкм и с микротвёрдостью 9,5-11 ГПа.

Абсолютное большинство работ, в которых исследовались процессы имплантации ионов азота при высоких плотностях тока, использовало плотности тока, не превышающего 3-4 мА/см². Во многих работах указывалось на существенное влияние плотности ионного тока на диффузию азота, но долгое время никто не проводил каких-либо специальных экспериментов, чтобы определить возможный предел плотности тока после которого увеличение плотности тока не приводит к увеличению толщины ионно-модифицированного слоя. Такое исследование было выполнено Н.В. Гавриловым [9]. Для поддержания температуры образца, при изменении плотности ионного тока, использовался электронный пучок. Образцы с размерами 15 × 15 × 2mm вырезались из листовой аустенитной нержавеющей

стали 12Х18Н10Т и подвергались электрополировке для удаления поверхностного напряженного слоя с измененным фазовым составом толщиной до 10 мкм. Перед установкой в камеру образцы очищались в ультразвуковой ванне с ацетоном. В камере проводилась завершающая очистка поверхности образцов ионным распылением в создаваемой электронным пучком аргоновой плазме в течение 20 минут (Ar^+ , 1 мА/см^2 , 300 эВ).

Плотность ионного тока на образцы зависела от давления газа, тока и начальной энергии электронов в пучке. Ток электронного пучка регулировался в пределах 5–20 А, ускоряющее напряжение U_a устанавливалось в пределах 50–500 В. Для исключения дугообразования использовался импульсно периодический режим генерации пучка с частотой повторения импульсов 500 Гц, длительность паузы составляла 50 мкс. Продолжительность ионного азотирования составляла 1 ч.

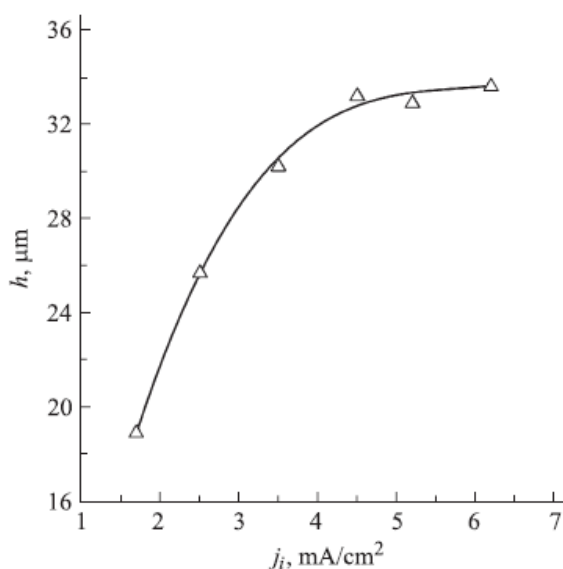


Рисунок 1.3 – Зависимость толщины упрочненного слоя от плотности ионного тока.

На рисунке 1.3 представлена зависимость толщины ионно-модифицированного упрочненного слоя в зависимости от плотности тока ионов азота. Видно, что увеличение плотности тока до 4 мА/см^2 сопровождается почти пропорциональным увеличением толщины ионно-модифицированного слоя. Дальнейшее увеличение плотности тока приводит к уменьшению

скорости нарастания толщины слоя и в конечном итоге достигается насыщение, когда дальнейшее увеличение плотности ионного тока не сопровождается изменением толщины модифицированного слоя. Предполагается, что дальнейшее увеличение плотности ионного тока одинаково влияет как на скорость ионного распыления поверхности, так и на скорость диффузии примеси.

Важно так же отметить работу В.М. Анищика и В.В.Углова [10]. В этой работе на основе теоретического моделирования предсказывается возможность проявления принципиально нового механизма массопереноса материалов при ионной имплантации. Показано, что в случае если плотность ионного тока будет в диапазоне $0,06-0,6 \text{ A/cm}^2$ при длительности импульса ионного пучка порядка 5 мкс должен проявляться ударно-волновой механизм массопереноса атомов лёгких элементов.

2. Экспериментальная установка и методика исследований

2.1 Схема высокоинтенсивного источника ионов азота

На рисунке 2.1 представлена схема импульсно-периодического ионного источника, позволяющего генерировать ионные пучки с высокой плотностью тока на мишень.

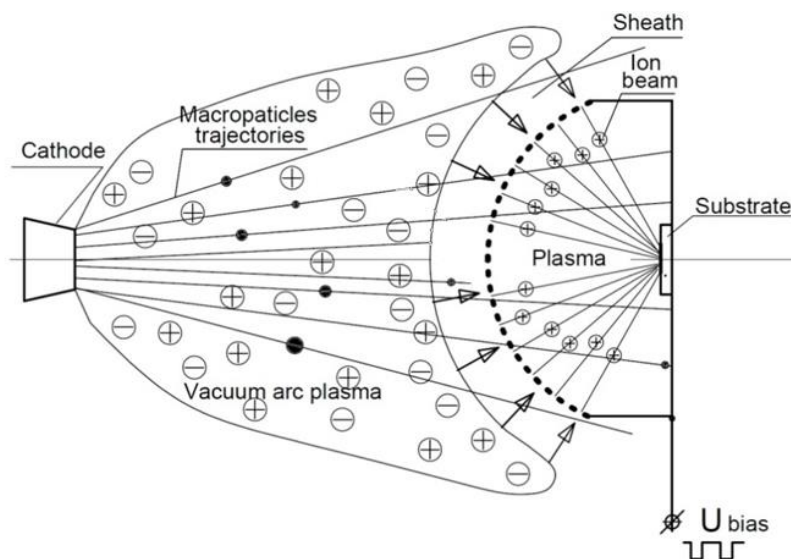


Рисунок 2.1 – Схема источника ионов

В данном подходе используется источник с накаливаемым катодом для формирования газовой плазмы. Предложена гибридная система формирования ионных пучков, сочетающая в себе особенности традиционных сеточных ионных экстракторов наряду с плазменно-иммерсионными методами извлечения ионов и их последующей баллистической фокусировкой. Нейтрализация пространственного заряда сфокусированного ионного пучка осуществляется как за счет инжекции плазмы в эквипотенциальное пространство дрейфа, так и благодаря ионизации рабочего газа ионами пучка.

Сеточный электрод выполнен в виде части сферы и электрически соединен с цилиндрической частью, образуя внутри системы эквипотенциальное пространство дрейфа для баллистической фокусировки ионного пучка, сформированного вблизи сеточного электрода. Сеточный электрод и коллектор или держатель образцов, на котором можно расположить мишень для ионной имплантации, подключались к высокочастотному коротко

импульсному генератору смещений отрицательной полярности с возможностью варьировать амплитуду импульса от 1,2 до 3,2 кВ, длительность импульса от 1 до 9 мкс, при фиксированной частоте следования импульсов 100 кГц. Сеточный блок электрически подключен к генератору через сопротивление R (100 Ω), падение напряжения на котором, создает небольшое отрицательное смещение на коллекторе, снижающее влияние плазменных электронов на регистрируемый ионный ток. Пояс Роговского использовался для измерения тока на коллектор.

Формирование ионного пучка основано на совмещении элементов традиционной системы экстракции в ионно-лучевых источниках и идей, реализованных в плазменно-иммерсионной ионной имплантации. Ионы извлекаются из плазмы и ускоряются в высоковольтном слое пространственного разделения зарядов, формирующегося перед отрицательным полусферическим сеточным электродом. Сеточный электрод выступает в роли экстрактора, а не облучаемой мишени. После прохождения через электрод, ион входит в эквипотенциальное пространство дрейфа и направляется на мишень, установленную вблизи фокуса сеточного электрода. Важно, что во время паузы между импульсами отрицательного смещения, плазма проникает через сеточный электрод и заполняет пространство между электродом и мишенью, выступая источником холодных электронов, необходимых для компенсации пространственного заряда микросекундного сфокусированного ионного пучка. Проведенные исследования показали, что эффективность фокусировки и транспортировки ионных пучков в значительной мере зависит от условия нейтрализации их пространственного заряда [11].

2.2 Подготовка образцов

В работе изучается изменение характеристик стали 40Х, при высокоинтенсивном облучении (до 0,6 А/см²) ионами азота низких энергий (1-2,6 кэВ). Данная сталь была выбрана как одна из широко распространённых, низколегированных хромом сталей.

Образцы изготавливались из калиброванного прутка (ГОСТ 7417-75

Сталь калиброванная круглая.) диаметром 20 мм. Пруток разрезался на отрезном станке Brilliant 201 на равные диски толщиной примерно 5 мм. После этого образцы подвергались шлифовке на шлифовально-полировальной машине Saphir 320 с использованием различных абразивных материалов до достижения зеркальной поверхности. После данной подготовки образец обрабатывался спиртом для окончательной очистки.

2.3 Исследуемые свойства

Наибольший интерес в процессе исследования представляла глубина ионно-модифицированного слоя и распределение концентрации азота. Исследовалось так же влияние температурного режима обработки на ионное распыление поверхности, толщину ионно-модифицированного слоя, распределение азота по глубине и изменение макроскопических свойств поверхности, включая микротвёрдость и износостойкость.

Было уделено внимание исследованию влияния плотности ионного тока при экстремально высокодозном облучении поверхности высокоинтенсивным пучком ионов в зависимости от плотности ионного тока.

2.4 Оборудование для исследований свойств.

2.4.1 Нанотвердомер (NANO Hardness Tester NHT-S-AX-000X)

Метод измерения нанотвердомером основан на анализе отношения, изменяющейся во времени нагрузки, к глубине проникновения и площади отпечатка индентора (Викерс или Беркович). При этом исследуются кривые нагружения и разгружения. Данные о нагрузке и ее перемещении регистрируются постоянно в течение всего процесса для получения кривой перемещения нагрузки. Выходными данными является микротвёрдость поверхности. Высокое разрешение прибора обеспечивает возможность измерения микротвёрдости как облучаемой поверхности, так и поперечных шлифов ионно-облученных образцов.

2.4.2 Высокотемпературный трибометр (PC-Operated High Temperature Tribometer THT-S-AX0000)

Высокотемпературный трибометр реализует измерительные методики «Игла на диске» и «Шар на диске».

Методика тестирования соответствует ASTM G99 и DIN 50324

Исследуемый образец закрепляется на вращающемся диске. Зафиксированный нагревающий элемент позволяет вращающемуся диску нагреваться до температуры 800 °С. Коэффициент трения определяется во время теста путем измерения прогиба эластичного рычага. Износ исследуемого образца определяется путем измерения трека образованного в результате действия неподвижного индентора на вращающийся образец.

2.4.3 Трехмерный бесконтактный профилометр (Micro Measure 3D Station)

Профилометр для прямых измерений использует технологию вычитания двух разных отражений из оптически прозрачной пленки, либо интерферометрический метод для очень тонких пленок. Для оптически непрозрачных пленок используется метод измерения высоты шага для расчета толщины пленки в том случае, если часть поверхности не имеет покрытия. Прибор хорошо подходит как для измерений шероховатости, благодаря небольшому размеру светового пятна, так и для измерения трека образца исследуемого на износостойкость. В нашем случае трёхмерный бесконтактный профилометр обеспечивал возможность измерения характеристик кратера, формирующегося на поверхности образца при экстремально высокодозовой имплантации ионов азота.

2.4.4 Оже-электронный спектрометр «Шхуна-2»

В основе метода электронной Оже-спектроскопии лежат процессы ионизация внутренних уровней атома бомбардирующими электронами с выходом Оже-электрона и его последующей регистрации при помощи

электронного спектрометра. Оже-переходы осуществляются между определенными энергетическими уровнями и покидающий атом Оже-электрон обладает характерной для данного атома энергией.

3. Экспериментальные результаты

В ходе обработки были получены следующие образцы: N7 (450 °C), N8 (475 °C), N9 (500 °C), N2 (650 °C). В скобках указана температура образца при обработке. В работе наиболее подробно представлены результаты, полученные на образцах N7 и N9.

Из-за особенностей баллистической фокусировки плотность ионного тока имеет распределение и не является однородной по сечению пучка. Эта особенность была использована при проведении экспериментов для выявления влияния плотности ионного тока на характеристики ионного модифицирования поверхности стали 40X. Фактически один образец облучался ионным пучком с различной плотностью тока по сечению, а значит с различной дозой облучения в разных точках поверхности при одинаковой температуре и при одной и той же энергии ионов азота. Результат измерения кратера сформированного на образце N8 после облучения стали 40X пучком ионов азота с током 0,6 А при энергии ионов 1,2 кэВ представлен на Рисунке 3.1. Из рисунка следует, что максимальная глубина кратера сформированного за час облучения достигает 176 мкм. В первом приближении, предполагая, что глубина расплывленного слоя, при определённой температуре мишени, заданных характеристиках материала мишени, сорта ионов и их энергии, фиксированных частоте и длительности импульсов пропорциональна плотности ионного тока. Исходя из этого, зная полный ток пучка и форму кратера расплывленной мишени можно найти распределение плотности ионного тока по сечению пучка. В общем виде ток описывается формулой 3.1:

$$I = j_0 * \sum_i \mu_i * S_i, \quad (3.1)$$

J_0 – плотность ионного тока, μ_i – коэффициент определяемый по глубине кратера в конкретной точке и учитывающий отличие плотности ионного тока от его максимального значения в центре кратера, S_i – площадь i -го участка.

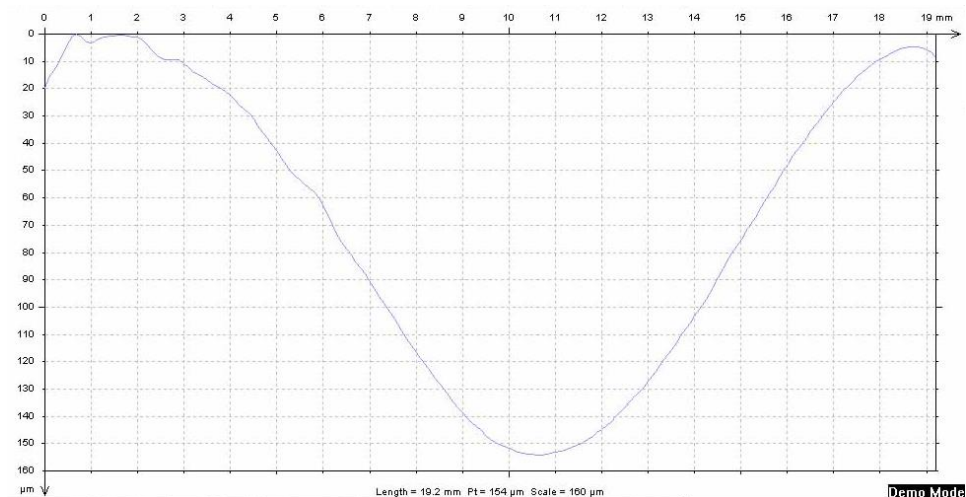


Рисунок 3.1 Профиль среза образца N7

Значение J_0 определённое по данным рисунка 3.1 составило $0,44 \text{ A/cm}^2$. Измерение характеристик образцов, таких как микротвёрдость, и распределение концентрации азота проводилось в центре кратера при максимальной плотности тока и на радиусах 2, 4, 6 и 8 мм. Таким образом, на радиусах 2, 4, 6, 8 мм плотность ионного тока составляла 0,37, 0,22, 0,12, 0,03 A/cm^2 соответственно. Зная плотность ионного тока в каждой точке и учитывая экспериментальные условия (длительность импульса тока 4 мкс, частота следования импульсов – 10^5 имп/с) можно определить соответствующие дозы ионного облучения из соотношения 3.2:

$$D = 6,25 * 10^{18} * j * t * f * T, \quad (3.2)$$

j – плотность ионного тока, t – длительность импульса тока, f – частота следования импульсов, T – время облучения в секундах.

Принимая во внимания вышеприведённые данные по плотностям тока в различных точках, дозы ионного облучения в них составили $3,33 \cdot 10^{21}$, $1,98 \cdot 10^{21}$, $1,08 \cdot 10^{21}$, $0,27 \cdot 10^{21}$ соответственно. Очевидно, что величины доз облучения в данном эксперименте более чем на два порядка превышали дозы облучения в ранее проводимых экспериментах [2, 8, 9, 10]

В таблицу 3.1 сведены результаты измерения глубины распыления, шероховатости, коэффициентов трения поверхности и износостойкости для

образов облученных при различной температуре. Важно отметить, что температура образцов регулировалась без изменения параметров пучка, только за счёт изменяя размеров радиатора излучающего тепло, на котором располагался образец.

Из данных таблицы 3.1 следует, что по сравнению с исходным образцом износостойкость стали 40X значительно возрастает при всех температурах облучения. Максимальный рост износостойкости наблюдается на образцах N7 и N9 облученных при температурах 450 °С и 500 °С, соответственно. Износостойкость после этих облучений возросла почти в 50 раз. Значительно меньший рост износостойкости наблюдается в случае облучения образца при температуре 600 °С.

Таблица 3.1

Номер образца	Глубина распыления, мкм	Шероховатость, мкм	Коэффициент трения	Износостойкость	
				Трек, мкм ²	Шар, мкм
Исходный	–	$R_a = 0,0891$ $R_z = 0,515$	0,139	6000	378
N7	154	$R_a = 0,562$ $R_z = 8,5$	0,217	126	370
N8	176	$R_a = 0,822$ $R_z = 8,95$	0,206	400	478
N9	183	$R_a = 0,502$ $R_z = 4,93$	0,184	164	339
N2	195	$R_a = 0,674$ $R_z = 0,504$	0,410	4001	399

3.1 Распределение концентрации имплантированного азота по глубине

На рисунке 3.2 представлено распределение концентрации азота по глубине образца из стали 40X облученного при температуре 450 °С в течение одного часа. Очевидно, что имеет место высокоскоростная диффузия атомов азота на глубины несколько десятков микрометров.

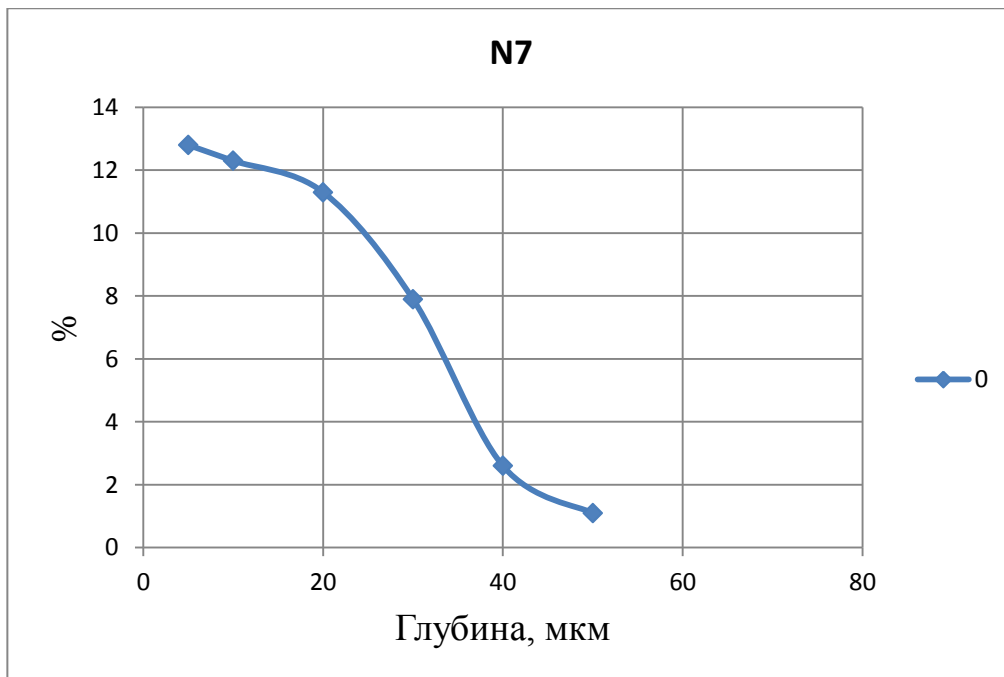


Рисунок 3.2.

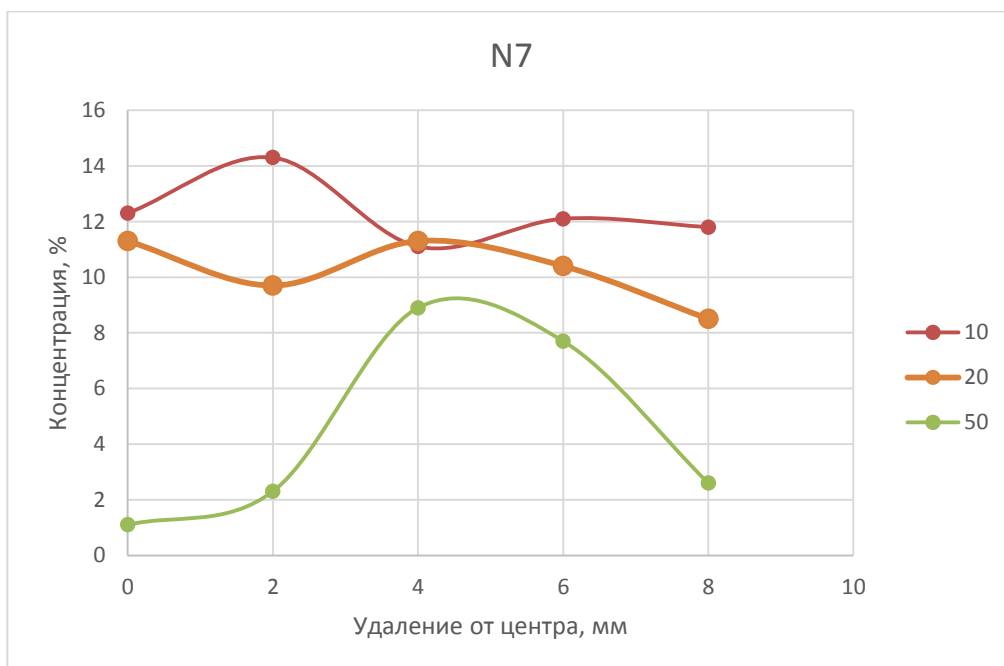


Рисунок 3.3.

Значительный интерес представляют данные о распределении концентрации азота по глубине, в зависимости от удаления точки анализа от центра кратера. Данные представленные на рисунке 3.3 указывают на то, что в центре кратера как на его периферии концентрация азота по глубине спадает значительно быстрее. Максимальное проникновение примеси наблюдается на радиусах кратера от 4 до 6 мм, то есть при плотностях ионного тока в

диапазоне от 0,12 до 0,22 А/см². Эти данные вступают в противоречие с данными полученными в работе [9], где показано, что при плотностях тока выше 0,0045 А/см² ширина легированного слоя уже не изменяется. Возможно, что при использованных в данной работе плотностях тока имеет место проявление другого механизма массопереноса примеси в твёрдом теле, например, ударно-волнового механизма как предсказывается в работе [10]. Для подтверждения данного предположения требуется дальнейшее тщательные и детальное исследования.

3.2 Измерение микротвёрдости

Практический интерес представляет собой профиль распределения микротвёрдости по глубине ионно-модифицированных образцов. Учитывая глубинное распределение азота для измерения микротвёрдости изготавливались поперечные шлифы и с помощью нанотвердомера измерялась твёрдость на различных расстояниях от облученной поверхности образца. На рисунке 3.4 представлены распределения микротвёрдости на образце N7 полученные в районе центра кратера и на расстоянии 8 мм. Видно, что в центральной области образца глубина ионно-модифицированного слоя не превышает 50 мкм. В то же время, на периферии кратера ширина ионно-модифицированного слоя оказывается существенно больше. Аналогичная ситуация наблюдается на образце N9. Микротвёрдость в центре кратера облучения снижается значительно быстрее, чем на радиусе 8 мм.

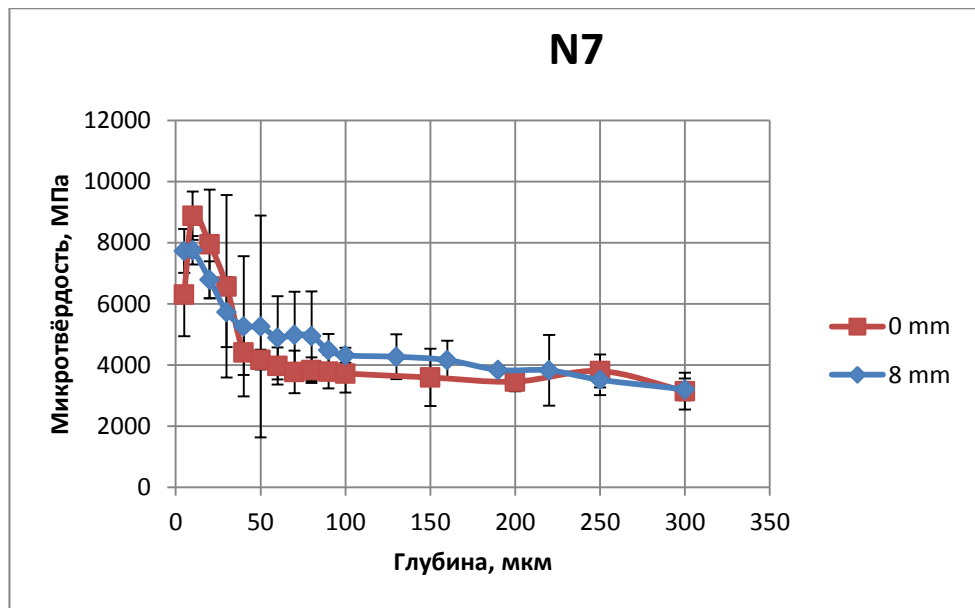


Рисунок 3.4 Образец N7, микротвёрдость

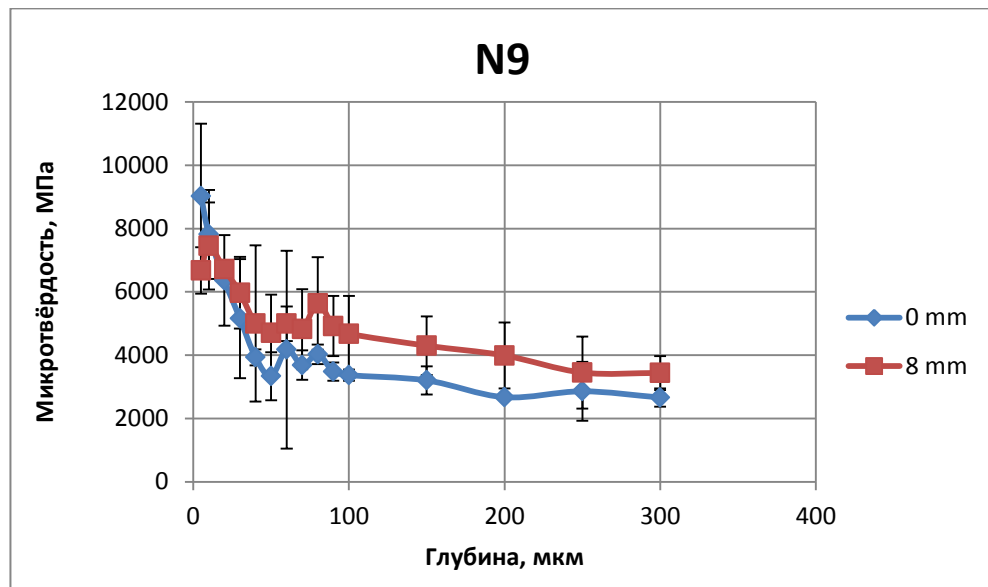


Рисунок 3.5 Образец N9, микротвёрдость

Как мы можем видеть, твёрдость падает по экспоненциальной зависимости вплоть до достижения изначальных характеристик стали. Значение твёрдости для необработанной стали составляет порядка $3,5 \cdot \text{ГПа}$. Удалось увеличить изначальную характеристику в три раза в случае образца N7.

Некоторые особенности измерений, в частности некий слой после основного слоя нитрида, в котором резко возрастает разброс измерений, может быть связано со структурой образца. После травления обнаруживалось, что первый слой представляет собой относительно однородную структуру. После него же, есть зона, в которой нитриды образуют большие блочные структуры,

вкраплённые в исходный материал.

3.4 Результаты исследований.

- Выполнен литературный обзор по азотированию материалов различными методами включая обычное азотирование, азотированию с использованием ионно-плазменных установок;
- Представлен обзор работ описывающих основные закономерности ионного азотирования при высоких плотностях тока до $6,5 \text{ мА/см}^2$;
- Получены сфокусированные пучки ионов азота с током $0,6 \text{ А}$, с плотностью тока определённой в рамках данной работы до $0,44 \text{ А/см}^2$ при ускоряющем напряжении $1,2 \text{ кВ}$;
- Проведено облучение образцов стали 40Х ионами азота при температурах образцов $450 \text{ }^\circ\text{С}$, $475 \text{ }^\circ\text{С}$, $500 \text{ }^\circ\text{С}$, $650 \text{ }^\circ\text{С}$ и при дозах облучения в различных точках образца изменяющихся от $0,27 \cdot 10^{21}$ до $3,33 \cdot 10^{21}$ ион/см²;
- Исследовано закономерности изменения микротвёрдости различных образцов по глубине на поперечном сечении на различных расстояниях от центра кратера, сформированного ионным распылением;
- Измерен профиль ионного распыления поверхности (профиль кратера);
- Исследовано изменение износостойкости образцов до и после ионного азотирования.

4. 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 (потенциала) 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.

Целью данной главы является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации [12].

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных

4.1.1. Потенциальные потребители

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол,

национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

Определим целевой рынок разработки. Увеличение износостойкости аустенитных сталей может сыграть полезную роль во многих областях. Следовательно, целевым рынком будут отрасли промышленности связанные с изготовлением различного рода машин и механизмов, требующих дополнительной обработки для повышения своих трибологических характеристик.

Для сегментирования рынка следует произвести на два основных направления. Можно производить разработку и наладку оборудование для плазменной обработки, на основе полученных результатов исследований, но так же можно и непосредственно на имеющемся оборудовании производить обработку изделий.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Был проведен детальный анализ конкурентных разработок, применяемых и существующих на данный момент. Детальный анализ необходимо проводить систематически из-за динамического характера рынка. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы обладать большей конкурентоспособностью. Так же необходимо оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Для этой цели может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 4.1. В этой таблице сравнивается техническая ресурсоэффективность и экономическая эффективность высокоинтенсивного облучения.

Бф –Высокоинтенсивные пучки низкой энергии ионов азота

Бк1 –Низкоинтенсивные пучки низкой энергии ионов азота

Бк2 – Азотирование в газовой среде

Бк3 – Азотирование в плазме

Таблица 4.1. – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы (маx 10)				Конкурентоспособность			
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
1. Скорость обработки изделия	0,2	5	3	1	4	1	0,6	0,2	0,8
2. Простота контроля тех.процесса	0,2	4	4	4	4	0,8	0,8	0,8	0,8
3. Уровень распыления	0,2	3	3	5	5	0,6	0,6	1	1
4. Энергоёмкость	0,1	5	5	3	3	0,5	0,5	0,3	0,3
5. Унифицированность	0,1	3	3	4	4	0,3	0,3	0,4	0,4
6. Простота эксплуатации	0,1	4	4	4	4	0,4	0,4	0,4	0,4
7. Стоимость внедрения	0,1	4	4	4	4	0,4	0,4	0,4	0,4
Итого:	1	28	26	25	27	4	3,6	3,5	4,1

Исходя из полученных значений, у исследуемой технологии существует конкурентная технология – азотирование в плазме. Этот метод действительно является сравнимым по эффективности азотирования аустенитных сталей, но он заметно проигрывает в скорости обработки материала, что играет ключевую роль для общего времени изготовления деталей.

4.1.3. SWOT-анализ

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

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован.

Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые

имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 4.2

Таблица 4.2. – SWOT-анализ

	Сильные стороны: С1: Высокая скорость обработки С2: Хорошие показатели износостойкости С3: Простота управления технологическим процессом	Слабые стороны: СЛ1: Недостаточная глубина имплантации СЛ2: Высокое распыление поверхности
Возможности: В1: Получение нового типа покрытия В2: Создание нового типа установок	Создание более эффективного метода азотирования	Учёт недостатков при разработке нового типа установки
Угрозы: У1: Конкуренционные методы проще в реализации У2: Отсутствие финансирования	За счёт лучших показателей привлечение финансирования	Продолжение разработки с целью достижения лучших результатов

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Научно-исследовательские работы и опытно-конструкторские разработки разбиваются на этапы в соответствии с ГОСТ 15.101-98, (для НИР) ГОСТ Р 15.201-2000 (для ОКР). В зависимости от характера и сложности НИОКР ГОСТ допускает разделение этапов на отдельные виды работ.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться от 3 до 15

человек. В рамках данной работы была сформирована рабочая группа, в состав которой вошли:

- руководитель;
- студент.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ по выполнению НИР, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок этапов и работ при выполнении ВКР приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ Работ	Содержание работы	Исполнитель
Разработка технического задания на НИР	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Выбор направления исследования	Руководитель
	4	Разработка общей методики проведения исследований	Руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические исследования	6	Изучение документации, поиск литературы	Студент
	7	Поиск статей в журналах по выбранной тематике	Студент
Расчёт и замеры данных	8	Проведение замеров	Студент

Основные этапы	№ Работ	Содержание работы	Исполнитель
	9	Анализ и описание результатов	Студент
Оформление отчета по НИР	10	Проверка полученных результатов	Руководитель
	11	Составление пояснительной записки	Студент

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Следующим этапом является определение трудоемкости выполнения НИОКР. Трудоемкость выполнения НИОКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости работ используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{минi} + 2t_{маxi}}{5},$$

где $t_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, (чел.-дн.); $t_{минi}$ - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), (чел.-дн.); $t_{маxi}$ - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), (чел.-дн). Вычисление трудоемкости проводится следующим образом с использованием вышеприведенной формулы:

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1.8.$$

Дальнейшие расчеты трудоемкости проводятся подобным образом с использованием данных из таблицы 4.3.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется

продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где T_{pi} - продолжительность одной работы, (раб. дн.); $t_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, (чел.-дн.); $Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, (чел.). В ходе данной работы количество человек, выполнявших каждую из работ на каждом из этапов, равняется одному.

Вычисление продолжительности каждой работы проводится следующим образом с использованием вышеприведенной формулы:

$$T_{pi} = \frac{1,8}{1}.$$

Дальнейшие расчеты продолжительности каждой работы проводятся подобным образом с использованием данных из таблицы 4.3.

4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

Был разработан календарный план работ. В ходе данной работы был построен ленточный графика проведения НИР в форме диаграмм Ганга. 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 календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k,$$

где T_{ki} - продолжительность выполнения одной работы, (кален. дн.); T_{pi} - продолжительность одной работы, (раб. дн.); k - коэффициент календарности,

предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Расчёт коэффициента календарности производится по следующей формуле:

$$k = \frac{T_{\text{кг}}}{T_{\text{кг}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}} = 1.22,$$

где, $T_{\text{кг}}$ - количество календарных дней в году ($T_{\text{кг}} = 365$ дн.); $T_{\text{вд}}$ - количество выходных дней в году ($T_{\text{вд}} = 52$); $T_{\text{пд}}$ - количество праздничных дней в году, ($T_{\text{пд}} = 14$).

Расчетные данные сведены в таблице 4.4, на основании которой был построен календарный план-график.

Таблица 4.4 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Вид работ	Исполнитель	$t_{\text{min } i}$	$t_{\text{max } i}$	$t_{\text{ож } i}$	Ψ_i	$T_{p \text{ } i}$, раб.дн	T_k , кал.дн
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	3	1.8	1	1.8	2
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	5	7	5.8	1	5.8	7
3	Выбор направления исследований	Руководитель	1	3	1.8	1	1.8	2
4	Разработка общей методики проведения исследований	Руководитель	2	4	2.8	1	2.8	4
5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	1	2	1.4	1	1.4	2
6	Изучение документации, поиск литературы	Студент	2	6	3.6	1	3.6	5
7	Поиск статей в журналах по выбранной тематике	Студент	5	7	5.8	1	5.8	7

№	Вид работ	Исполнитель	$t_{min i}$	$t_{max i}$	$t_{ож i}$	$Ч_i$	$T_{p i}$, раб.дн	T_k , кал.дн
8	Расчёт и замеры данных	Студент	5	12	7.8	1	7.8	10
9	Анализ и описание результатов	Студент	10	15	12	1	12	15
10	Проверка полученных результатов	Руководитель	1	3	1.8	1	1.8	2
11	Составление пояснительной записки	Студент	1	3	1.8	1	1.8	2
Итого: Руководитель			6	15	9,6	1	9,6	12
Студент			29	44	36,8	1	36,8	46

4.2.4. Календарный план-график в виде диаграммы Ганта

На основании полученных данных был построен план-график в виде диаграммы Ганта. График строится с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план-график выполнения данной дипломной работы представлен ниже в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Ис п.	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ									
				Май				Июнь					
				1	2	3	4	1	2	3	4		
1	Составление и утверждение технического задания	Р	2	■									
2	Подбор и изучение материалов по теме	С	7	▨									
3	Выбор направления исследований	Р	2		■								
4	Разработка общей методики проведения исследований	Р	4		■								
5	Календарное планирование работ по теме	Р	2			■							
6	Изучение документации, поиск литературы	С	5			▨							
7	Поиск статей в журналах по выбранной тематике	С	7			▨							
8	Расчёт и замеры данных	С	10				▨						
9	Анализ и описание результатов	С	15					▨					
10	Проверка полученных результатов	Р	2						■				
11	Составление пояснительной записки	С	2							▨			

▨ - студент; ■ - руководитель.

4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

- материальные затраты НТИ;
- 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.

4.4.1. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Амортизация использованного оборудования.

Основные работы для ВКР проводились за моноблоком. Стоимость моноблока 40000 рублей. Сроки службы 1095 дней (3 года).

Амортизационные отчисления за период выполнения дипломной работы составили:

$$A_M = \frac{36,8 \cdot 40000}{1095} = 1345$$

Нанотвердомер (NANO Hardness Tester NHT-S-AX-000X)

$$A_M = \frac{12 \cdot 6230000}{20 \cdot 365} = 10241$$

Высокотемпературный трибометр (PC-Operated High Temperature Tribometer THT-S-AX0000)

$$A_M = \frac{12 \cdot 5904000}{20 \cdot 365} = 9705$$

Общий расход на оборудование составил 21291 рубля.

4.4.2. 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 размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
• выходные дни	52	52
• праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
• отпуск	48	48
• невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный доклад работника с учетом районного коэффициента для Томска $k_p = 1,3$, вычисляется:

$$З_m = З_{тс} \cdot 1,3.$$

Данные и результаты расчета основной заработной платы приведены в таблице 13, например, для руководителя расчет основной заработной платы, зная, что его оклад 33755,83 руб./месяц, проводится следующим образом:

- находим месячный должностной оклад:

$$З_m = 33755,83 \cdot 1,3 = 43882,58 \text{ руб./месяц};$$

- рассчитываем среднедневную заработную плату:

$$З_{дн} = \frac{43882,58 \cdot 10,4}{251} = 1818,24 \text{ руб./день};$$

- рассчитываем основную заработную плату:

$$З_{осн} = 1818,24 \cdot 12 = 21818,88 \text{ руб.}$$

Подобный расчет проводится для вычисления основной заработной платы студента. Окончательный результат представлен в таблице 4.8

Таблица 4.8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	k_p	Z_m , руб./месяц	$Z_{дн}$, руб./день	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	33755,83	1,3	43882,58	1818,24	9,6	17455,1
Студент	7500	1,3	9750	404	36,8	7433,3 (полставки)
Итого $Z_{осн}$						24888,4

4.4.3. 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:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}),$$

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

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

$$k_{внеб} = k_{пф} + k_c + k_{пн},$$

где $k_{пф}$ - коэф. отчисления в пенсионный фонд; k_c - коэф. отчисления страховых взносов; $k_{пн}$ - коэф. отчисления в подоходный налог.

$$k_{внеб} = 0,271.$$

Таким образом отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда руководителя вычисляются следующим образом:

$$Z_{внеб} = 0,271 \cdot (24888,4) = 6744,7 \text{ руб.}$$

4.4.4. Накладные расходы

Суда входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. Мощность рабочей станции: 0,12 кВт.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,12 \cdot 150 = 104,4 \text{ руб.},$$

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

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

Затраты на электроэнергию для исследовательского оборудования:

$$C_{\text{н}} = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,08 \cdot 15 = 6,96 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{т}} = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,1 \cdot 30 = 17,4 \text{ руб.},$$

Общие накладные расходы на электроэнергию составили 128,76 рублей.

4.4.5. Формирование 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. 4.11.

Таблица 4.11 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	21291
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	24888,4
3. Отчисления во внебюджетные фонды	6745
4. Накладные расходы	128,76
5. Бюджет затрат НИИ	53052,8

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

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

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. 17).

Исп.1 – Азотирование высокоинтенсивной (0,3-0,6 А/см²) установкой с низкой энергией ионов

Исп.1 – Азотирование в газовой среде

Таблица 4.12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп.2
1. Соответствие теории и эксперимента	0,20	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4
3. Глубина имплантирования	0,20	3	5
4. Стоимость внедрения	0,15	4	4
5.Время проведения обработки	0,30	5	3
ИТОГО	1	22	20

Произведём расчёт по формулам:

$$I_{p-исп1}=4,45;$$

$$I_{p-исп2}=3,9;$$

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

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

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.4.13) и выбрать наиболее целесообразный вариант из

предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

Таблица 4.13 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,45	3,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,14	0,88

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.

5 Социальная ответственность

Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда. Таким образом осуществляться планомерное повышение качества и эффективности средств защиты от вредных и опасных производственных факторов.

Законодательство Российской Федерации об охране труда основывается на Конституции Российской Федерации и Трудовом кодексе Российской Федерации.

Работодатель берет на себя обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда в организации. Согласно Федеральному закону от 17 июля 1999 г. №181-ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации" (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.) остановимся на некоторых понятиях.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно – технические, санитарно – гигиенические, лечебно – профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Условия труда – совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника.

Вредный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию.

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме и смерти.

Безопасные условия труда – такие условия труда, при которых воздействие вредных или опасных производственных факторов на работников исключено или уровни их воздействия не превышают установленные нормы.

Рабочее место – место, в которое необходимо прибыть работнику для выполнения его работы.

Поставленные задачи требуют использования достижений многих научных дисциплин, прямо или косвенно связанных с задачами создания безопасных условий труда. При разработке требований производственной санитарии используются результаты исследований ряда медицинских и биологических дисциплин.

Огромнейшее влияние на решение проблем охраны труда оказывает качество подготовки специалистов в этой области, их умение принимать верные решения в сложных и динамичных условиях современного производства.

Рабочие, служащие, инженерно – технические работники и руководящий состав обязан следовать правилам по охране труда и техники безопасности.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Научно – исследовательская работа проводилась в лаборатории №22 ФТИ. Исследования велись на ПЭВМ, а так же использовался стэнд для создания ионных плазменных пучков с помощью генерации плазменной дуги.

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

В таблице 5.1 представлены основные виды работ, которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов.

Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Расчёты на ПЭВМ, работа с оборудованием (Нанотвердомер, Трибомер, Профиломер).	–	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)	–	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	–	Пожарная безопасность	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р 12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность

На работника лаборатории, проводящего экспериментальные исследования, могут воздействовать следующие факторы:

Физические:

- температура и влажность воздуха;

- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле низкой частоты;
- освещённость;
- наличие излучения.

Психофизиологические:

- физические перегрузка (статическая, динамическая);
- нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, перегрузки анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе с ПЭВМ и оборудованием

5.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

5.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рис. 5.1.

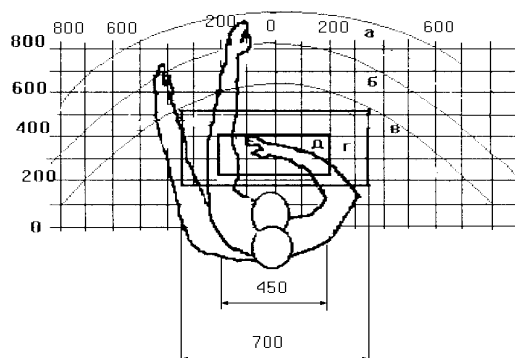


Рисунок 5.1. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а – зона максимальной досягаемости рук;

б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в – зона легкой досягаемости ладони;

г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация – в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования. Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-

550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

5.2.3 Условия безопасности работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [13] и приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата.

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13-

15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основным недостатком такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Согласно [13] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25В/м;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 2,5В/м.
- Плотность магнитного потока должна быть не более:
- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250нТл;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 25нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 18 мЗв/с. По нормам [14]

конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

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

В производственном помещении применяется общее равномерное освещение с помощью люминесцентных ламп.

Согласно требованиям [15] освещенность рабочих поверхностей должна быть не менее 200 лк.

5.3 Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ПЭВМ или другими электроустановками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под

напряжением;

- при коротком замыкании.

Действие электрического тока на организм человека

Электрический ток, проходя через организм человека может оказывать на него три вида воздействий:

Термическое действие тока:

- появление на теле ожогов разных форм;
- перегревание кровеносных сосудов;
- нарушение функциональности внутренних органов, которые находятся на пути протекания тока.

Электролитическое действие: расщепление крови и иной органической жидкости в тканях организма.

Биологическое действие:

- нарушение нормальной работы мышечной системы;
- возникновение непроизвольных судорожных сокращений мышц;
- нарушению нормальной работы органов дыхания и сердца, в том числе абсолютное прекращению их функциональности.

Основными факторами поражения, которые возникают в результате действия электрического тока на человека являются:

- электрические травмы – местные повреждения тканей организма в результате действием электрического тока или электрической дуги. К электрическим травмам можно отнести такие повреждения как электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения;
- электрические знаки – проявляются на коже человека, который подвергся действию тока, в виде пятен овальной формы серого или бледно желтого цвета. Как правило, безболезненны, затвердевают подобно мозоли, со временем омертвевший слой кожи сходит самостоятельно;

- металлизация кожи – возникает в результате проникновения в верхний слой кожи мелких частиц металла, который оплавился под действием электрической дуги. Кожа в месте поражения становится болезненной, становится жесткой, принимает темный металлический оттенок;
- электроофтальмия – возникает в результате воспаления наружной оболочки глаз под действием ультрафиолетовых лучей электрической дуги. Для защиты необходимо пользоваться защитными очками и масками с цветными стеклами;
- механические повреждения – проявляются под действием тока, произвольным судорожным сокращением мышц. Это может привести к разрыву кожи, кровеносных сосудов и нервных тканей.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей);
- применение средств защиты.

Электрозщитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги. Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В

первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся [16]:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть заблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;
- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства и др.

При выполнении данной ВКР применен плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора

При использовании данного оборудования строго выполнялись требования по электробезопасности, все операции выполнялись с руководителем, имеющим допуск до работ с напряжениями до 1000 В, а также был получен допуск II категории по электробезопасности для работы с установками с напряжением до 1000 В.

5.4 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [17], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение лаборатории по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- работа с открытой электроаппаратурой;

- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам

- противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
 - соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
 - правильное размещение оборудования;
 - своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении пожара сообщить руководителю, органам противопожарной безопасности предприятия и приступить к тушению пожара огнетушителем. При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному).
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по телефону – 112.
3. Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Заключение

В рамках выполненной работы впервые проведено исследование влияния экстремально высокодозового облучения высокоинтенсивным пучком ионов азота на глубину ионно-азотированного слоя в стали 40Х. Изучено изменение микротвёрдости, износостойкости образцов облученных при разной температуре и разных дозах облучения. Впервые показано, что ширина ионно-азотированного слоя при изменении плотности ионного тока в диапазоне от 0,03, до 0,44 А/см² изменяется не монотонно и имеет максимум при плотностях тока в пределах от 0,12 до 0,22 А/см².

Список использованных источников

1. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Азотирование стали. – М., «Машиностроение», 1976 г. 256 с.;
2. R. Way Low energy, high current density ion implantation of materials at elevated temperatures for tribological applications // Surface and Coatings Technology, Volume 83, Issues 1–3, September 1996, Pages 218-227;
3. Sun Y. Bell T., Kolosvary Z. Flis J. The response of austenitic stainless steels to low temperature plasma nitriding London: Stainless Steel 2000-Japan Maney Publishing 2001. P. 65;
4. Ronghua Wei, Raymond C. Benn, Clark V. Cooper, High Intensity Plasma Ion Nitriding of AerMet 100 Martensitic Steel // Plasma Proces and Polymers Volume 4, Issue Supplement S1 April 2007 Pages S700–S706
5. Малахов, Эдуард Владимирович. Азотирование стали 40Х импульсным ионным потоком в безводородной плазме дугового разряда низкого давления [Электронный ресурс] / Э. В. Малахов, И. М. Гончаренко; науч. рук. И. М. Гончаренко // Современные техника и технологии сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 12-16 апреля 2010 г: в 3 т.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . – 2010 . – Т. 1 . – [С. 350-352]
6. D.L. Williamson, O. Ozturk, R. Wei and P.J. Wilbur, Surf. Coat. Technol., 65 (1994) 15
7. D.L. Williamson, I. Ivanov, R. Wei and P.J. Wilbur, Materials Research Society Symp. Proc., Vol. 235, Materials Research Society, Pittsburgh, PA, 1992, p. 473
8. Кукареко В.А., Белый А.В. Панин С.В. и др. Влияние высокоинтенсивной имплантации ионов азота на структуру и поведение стали 40Х в условиях трения и износа // Физическая мезомеханика 5 1(2002) 71-80с.;

9. Влияние параметров электронного пучка и ионного потока на скорость плазменного азотирования аустенитной нержавеющей стали Н.В. Гаврилов, А.И. Меньшаков //Журнал технической физики, 2012, том 82, вып. 3
10. Анищик В.М. Модификация инструментальных материалов ионными и плазменными пучками / В.М. Анищик, В.В. Углов – Мн.: БГУ, 2003. – 191 с. – ISBN 985-445-906-3
11. High intensity metal ion beam generation Ryabchikov, A.I. Email Author, Ananin, P.S., Dektyarev, S.V., Sivin, D.O., Shevelev, A.E. // Vacuum December 19, 2016 DOI: 10.1016/j.vacuum.2017.03.011
12. Кондрашов А.П., Шестопалов Е.В. Основы эксперимента и математическая обработка результатов измерений. Учебник для техникумов. М., Атомиздат, 1977.
13. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
14. Федеральный закон «Об основах охраны труда в Российской Федерации» От 17.07.99 №181-ФЗ.
15. ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы.
16. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность.
17. Общие требования. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность.