

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение
 Отделение контроля и диагностики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Измерение толщины гальванических покрытий

УДК 620.179.142.6:621.357.74

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б7А	Бурган Владислав Алексеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вавилова Галина Васильевна	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОКД	Уразбеков Евгений Иванович			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов М.А.	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Авдеева И.И.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 12.03.01 Приборостроение	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	к.т.н., доцент		

Томск – 2021 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики
ОПК(У)-2	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-3	Способность выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат
ОПК(У)-4	Способность учитывать современные тенденции развития техники и технологий в своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-5	Способность обрабатывать и представлять данные экспериментальных исследований
ОПК(У)-6	Способность собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования
ОПК(У)-7	Способность использовать современные программные средства подготовки конструкторско-технологической документации
ОПК(У)-8	Способность использовать нормативные документы в своей деятельности
ОПК(У)-9	Способность владеть методами информационных технологий, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-10	Готовность пользоваться основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-5	Способность к анализу, расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов на схемотехническом и элементном уровнях
ПК(У)-6	Способность к оценке технологичности и технологическому контролю простых и средней сложности конструкторских решений, разработке типовых процессов контроля параметров механических, оптических и оптико-электронных деталей и узлов
ПК(У)-7	Готовность к участию в монтаже, наладке настройке, юстировке, испытаниях, сдаче в эксплуатацию опытных образцов, сервисном обслуживании и ремонте техники
ПК(У)-8	Способность к расчету норм выработки, технологических нормативов на расход материалов, заготовок, инструмента, выбору типового оборудования, предварительной оценке экономической эффективности техпроцессов
ПК(У)-9	Способность к разработке технических заданий на конструирование отдельных узлов приспособлений, оснастки и специального инструмента, предусмотренных технологией
ПК(У)-10	Готовность к участию в работах по доводке и освоению техпроцессов в ходе технологической подготовки оптического производства
ПК(У)-11	Способность к организации входного контроля материалов и комплектующих изделий
ПК(У)-12	Готовность к внедрению технологических процессов производства, метрологического обеспечения и контроля качества элементов приборов различного назначения

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Мойзес Б.Б.

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
1Б7А	Бурган Владислав Алексеевич

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ №12-46/с от 12.01.2021
---------------------------------------------	-------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2021
------------------------------------------	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования: гальваническое проводящее немагнитное покрытие на различных изделиях (трубы, болты, гайки и т.п.). Толщина гальванического покрытия от 5 до 150 мкм.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Анализ контролируемых гальванических покрытий;2. Анализ методов контроля толщины покрытий, принципы работы, выявление достоинств и недостатков каждого из методов;3. Выявление наиболее подходящих методов контроля для решения поставленной задачи4. Социальная ответственность;5. Финансовый менеджмент.
Перечень графического материала	-

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Методы контроля толщины покрытий»	Уразбеков Евгений Иванович, старший преподаватель ОКД
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Гасанов Магеррам Али оглы, профессор ОСГН
«Социальная ответственность»	Авдеева Ирина Ивановна, старший преподаватель ООД
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.10.2020

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вавилова Галина Васильевна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б7А	Бурган Владислав Алексеевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение
 Отделение контроля и диагностики
 Период выполнения 2020/2021 учебные года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2021
------------------------------------------	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.12.2020	Обзор источников информации	10
25.12.2020	Формулирование целей и задач работы, формулирование предмета и объекта разработки	5
10.05.2021	Проведение инженерных расчетов, разработка конструкции объекта	20
19.05.2021	Разработка плана эксперимента и проведение экспериментов	20
4.06.2021	Анализ полученных результатов и выводы о достижении цели в основном разделе ВКР	5
4.06.2021	Разработка разделов «Социальная ответственность», «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
11.06.2021	Оформление ВКР и презентационных материалов	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОКД	Уразбеков Е.И.			

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 12.03.01 «Приборостроение»	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	к.т.н., доцент		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б7А	Бурган Владислав Алексеевич

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение контроля и диагностики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Приборостроение

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя – 30000 руб. Оклад инженера – 15000 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премимальный коэффициент руководителя 30%; Премимальный коэффициент инженера 20%; Доплаты и надбавки руководителя 30%; Доплаты и надбавки инженера 30%; Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 1,3%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ разработанной стратегии
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Определение структуры работы. Расчет трудоемкости выполнения работ. Подсчет бюджета исследования
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Рассчитать показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности исполнения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.02.2021
-------------------------------------------------------------	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	д-р экон. наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б7А	Бурган Владислав Алексеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Б7А	Бурган Владислав Алексеевич

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	12.03.01 Приборостроение

Тема ВКР:

Измерение толщины гальванических покрытий	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является анализ методов и средств контроля толщины гальванических покрытий в процессе изготовления.</p> <p>Рабочая зона – физическая лаборатория. Технологический процесс включает в себя работу с электрическим оборудованием: измерительным преобразователем и амплитудно-фазовым детектором. Площадь отапливаемого помещения 51,5 м², освещение смешанное, наличие ПК и рабочего стола оператора.</p> <p>Область применения – толщинометрия в авиастроении, машиностроении, радиоэлектронной промышленности, строительстве.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</p> <p>ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;</p> <p>СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;</p> <p>ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;</p> <p>СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение;</p> <p>ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление;</p> <p>СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания;</p> <p>Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Глава 1.1 Общая часть (Издание седьмое);</p> <p>ГОСТ Р 56136-2014 Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения;</p> <p>ГОСТ 26119-97 Электроприборы бытовые. Эксплуатационные документы;</p> <p>ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения.</p>

<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Выявить вредные факторы в физической лаборатории: отклонение показателей микроклимата, превышение уровня шума, недостаточная освещённость рабочей зоны. Рассмотреть: – требования к технике безопасности при работе электрическим оборудованием; – влияние психофизиологических факторов: монотонность труда, физические и эмоциональные перегрузки, умственное перенапряжение; – предлагаемые средства защиты для работы в физической лаборатории: коллективная защита (вытяжные шкафы, вентиляция); индивидуальные средства защиты (защитные очки, перчатки, халаты) Выявить опасные факторы, относящиеся к оборудованию: – опасность поражения электрическим током: короткое замыкание, статическое электричество;</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Рассмотреть необходимость применения санитарно-защитной зоны вследствие следующих видов загрязнений: – загрязнение атмосферы: выброс газа, задымление; – загрязнение гидросферы: разлив смазывающе-охлаждающих жидкостей, масел; – загрязнение литосферы: металлическая стружка и пыль, утилизация микросхем, люминесцентных ламп и макулатуры</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Определить перечень наиболее возможных ЧС: пожар, взрыв, химическое отравление воздуха рабочей среды вредными газами, разрушение зданий в результате разрядов атмосферного электричества, урагана. Наиболее актуальная ЧС – возникновение пожара. Рассмотреть профилактические мероприятия, требования к безопасности и меры по ликвидации ее последствий: – использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла, пожарного крана и пожарного щита; – обеспечение средствами индивидуальной защиты; – организационная эвакуация работников.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2021
------------------------------------------------------	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Авдеева Ирина Ивановна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б7А	Бурган Владислав Алексеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 88 страниц, 29 рисунков, 37 таблиц, 30 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: гальваническое покрытие, толщинометрия, измерительные преобразования, толщиномер, методы контроля.

Цель исследований: анализ методов и средств контроля толщины гальванических покрытий в процессе изготовления.

Изучены вихретоковый, индуктивный, акустический, магнитный, радиометрический, электрический, методы контроля толщины гальванических покрытий.

Проведены эксперименты по определению толщины алюминиевых листов с помощью вихретокового, индуктивного и взаимоиנדуктивного.

В результате были получены графики зависимости толщины объектов контроля от параметров каждого преобразователя.

Объектом исследований являются гальванические покрытия, а предметом исследования - контроль толщины гальванических покрытий.

Применения: толщинометрия, дефектоскопия, структуроскопия.

Оглавление

Введение.....	13
ГЛАВА 1 Характеристики объекта контроля.....	14
ГЛАВА 2 Методы контроля толщины покрытий.....	16
2.1 Акустический метод измерения.....	16
2.1.1 Ультразвуковой метод контроля толщины покрытий.....	16
2.2 Магнитный метод измерения.....	19
2.2.1 Пондеромоторный метод контроля толщины покрытий.....	20
2.2.2 Методы, основанные на измерении магнитного потока.....	22
2.2.3 Индукционный метод контроля.....	24
2.2.4 Индуктивный метод контроля.....	27
2.3 Вихретоковые методы контроля толщины покрытий.....	29
2.4 Радиометрические методы.....	30
2.4.1 Метод, основанный на измерении обратного рассеяния.....	31
2.4.2 Рентгенофлуоресцентный метод.....	32
2.5 Электрические методы.....	34
2.5.1 Методы измерения электропроводности.....	34
2.5.2 Термоэлектрический метод.....	35
2.6. Выбор метода контроля.....	37
ГЛАВА 3 Экспериментальная часть.....	38
3.1 Индуктивное и взаимоиндуктивное преобразование.....	38
3.2 Вихретоковое измерительное преобразование.....	42
3.3 Выводы.....	47
ГЛАВА 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	49

4.1	Потенциальные потребители результатов исследования	49
4.2	Анализ конкурентных технических решений	50
4.3	SWOT-анализ.....	51
4.4	Планирование работ по научно-техническому исследованию	55
4.4.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	55
4.4.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	56
4.4.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	57
4.5	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	59
4.5.1	Расчет материальных затрат НТИ.....	59
4.5.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	60
4.5.3	Основная заработная плата исполнителя темы	61
4.5.4	Расчет дополнительной заработной платы	64
4.5.5	Отчисления во внебюджетные фонды.....	64
4.5.6	Накладные расходы	65
4.5.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .	66
4.6	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	66
4.7	Выводы	69
ГЛАВА 5 Социальная ответственность		70
5.1	Введение	70
5.2	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	70
5.2.1	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	70
5.2.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	71
5.3	Производственная безопасность.....	71

5.3.1 Отклонение показателей микроклимата	73
5.3.2 Превышение уровня шума	74
5.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	74
5.3.4 Умственное перенапряжение и монотонность труда.....	75
5.3.5 Физические перегрузки из-за длительного нахождения в рабочей позе	76
5.3.6 Опасность поражения электрическим током.....	76
5.4 Экологическая безопасность	78
5.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	78
5.4.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	78
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	80
5.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при производстве объекта на предприятии и может вызвать сам объект исследований	80
5.5.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	81
5.6 Выводы	82
Заключение	83
Список литературы	84

Введение

Надежность и долговечность технических изделий во многом определяются их коррозионной стойкостью. Однако не все материалы имеют достаточную прочность. Поэтому для защиты от коррозии используются различные покрытия, например, гальванические. В ряде случаев защитные покрытия используют для увеличения износостойкости деталей и механизмов. В таком случае от толщины защитного покрытия могут зависеть конечные свойства деталей. Как правило, если толщина покрытия будет слишком велика, то уменьшатся механические свойства продукта, слишком малая толщина не обеспечит достаточной защиты. В связи с этим задача контроля толщины гальванического покрытия является очень актуальной.

Такие металлы как хром, цинк, олово, медь, кадмий, никель широко используются в качестве защитных покрытий. В случае использования драгоценных металлов, например, золота или серебра, контроль толщины является решением проблемы их рационального использования.

Целью выпускной квалификационной работы является анализ методов и средств контроля толщины гальванических покрытий.

В данной работе рассмотрены измерительные преобразования, методы, приборы, используемые для толщинометрии гальванических покрытий. Выявлены достоинства и недостатки каждого метода.

ГЛАВА 1 Характеристики объекта контроля

Гальваническое покрытие - это металлическая пленка толщиной от долей микрона до десятой доли миллиметра, которая нанесена на поверхность неметаллических и металлических изделий путем гальванопокрытия. Задачей гальванического покрытия является придание изделию износостойкость, антикоррозионные, антифрикционные, декоративные свойства, повысить твердость [1].

Большинство гальванических покрытий используются в автомобильной, строительной, авиационной, радиотехнической и электронной промышленности. Но эстетический внешний вид и большая цветовая гамма, а также защита от неблагоприятных внешних воздействий привлекают внимание дизайнеров интерьера, например, при оформлении дверных ручек, мебели и карнизов, внутренних и внешних деталей. Благодаря хромированным и никелированным покрытиям получается увеличить срок службы и повысить качество как бытовых приборов, так и промышленных штамповочных и прессовых инструментов. Толщина гальванических покрытий составляет от 5 до 150 мкм.

Далее рассмотрим технологию гальванизации. Деталь погружается в емкость с электролитом (токопроводящий раствор) и подается отрицательный заряд, в результате чего она становится катодом. В электролите так же находится специальная пластина, являющаяся анодом и служащая для образования покрытия. При замыкании электрической цепи металл с пластины растворяется в электролите и образует тонкую плёнку на детали.

Данный способ гальванизации называется анодным. Его плюсом является то, что при возникновении очага коррозии разрушится именно покрытие, а основной металл остается нетронутым.

Второй способ гальванизации – катодное напыление. Его применяют значительно реже. Его главный минус- при нарушении целостности покрытия основной металл начинает интенсивно разрушаться. Этому способствует сама технология нанесения.

Размер емкости для гальванизации выбирается в зависимости от производственных задач. Например, детали больших размеров подвешивают в объемных ваннах. Для мелких же изделий применяют барабанные емкости, в которых отрицательный заряд подается на барабан, вращающийся в электролите. В случае с обработкой очень мелких деталей используют колокольные наливные ванны, вращающиеся с низкой скоростью в процессе работы, в результате чего детали равномерно покрываются защитным покрытием [1].

Соответствие реальной толщины гальванического покрытия требованиям конструкторской и нормативно-технической документации на изделие напрямую влияет на конечные свойства. При соблюдении всех требований будет обеспечено правильное функциональное назначение покрытия и изделия в целом. Поэтому контроль толщины является важной операцией в технологическом цикле изготовления.

ГЛАВА 2 Методы контроля толщины покрытий

Помимо твердости и шероховатости, фазовой структуры и химического состава покрытия, важную роль играет его толщина. Кроме того, основным критерий при приемке покрытия является его толщина.

В этой главе рассмотрены основные методы измерения толщины покрытий.

2.1 Акустический метод измерения

Первый метод измерения толщины покрытия- акустический, основанный на регистрации параметров упругих волн, возбуждаемых или возникающих в объекте контроля.

Существует четыре диапазона акустических волн в зависимости от частоты: инфразвуковые, звуковые, ультразвуковые и гиперзвуковые. Широкое распространение для решения задач измерительных преобразований получил ультразвуковой диапазон.

2.1.1 Ультразвуковой метод контроля толщины покрытий

Диапазон частот для этого типа измерения толщины составляет от 20 кГц до 100 кГц.

Ультразвуковой метод основан на том, что звуковые волны отличаются неизменностью своей траектории в однородном материале. Изменение удельного акустического сопротивления внутри объекта контроля ведет к отражению волны. Толщина покрытия определяется исходя из времени, за которое волна проходит до границ двух сред.

Выделяют четыре вида акустических волн, зависящие от направления колебаний частиц по отношению к направлению распространения: нормальные, поперечные, продольные и поверхностные.

В продольных волнах направление колебаний частиц совпадает с направлением ее распространения. Данные волны могут быть возбуждены в твердой, жидкой и газообразной среде.

В поперечной волне направление колебаний частиц и направление распространения волны перпендикулярны друг другу. Такие волны возникают в телах, способных к упругому сопротивлению деформации сдвига, т.е. в твердых телах.

Поверхностные волны возникают на свободной поверхности твердого тела (в тонком поверхностном слое), на которой частицы движутся по эллипсоидной траектории.

Нормальные волны могут возникнуть в плоских телах или же в телах, толщина которых постоянна.

От эластичности материала и его плотности зависит скорость распространения упругих волн, а нормальные волны зависят еще и от размеров тела, в котором волны распространяются.

Существует несколько методов возбуждения ультразвуковых волн в объекте контроля. Основным является пьезоэлектрический эффект.

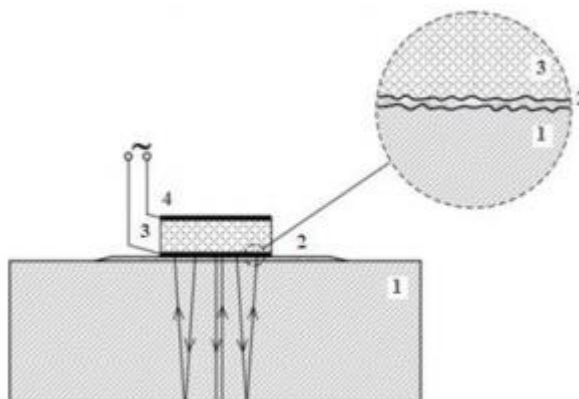


Рисунок 2.1– Пьезоэлектрическое преобразование: 1 – измеряемый объект, 2 – слой жидкости, 3 – пластина из пьезоэлектрика, 4 – металлическая обкладка

Принцип работы пьезопреобразователей лежит в упругих деформациях, которые генерируют пьезоэлектрики при подаче переменного напряжения. Акустические волны, которые возникают в пьезоэлектрике, распространяются в

объекте контроля при его непосредственном контакте. Следовательно, пластина из пьезоэлектрического материала является основополагающим элементом пьезоэлектрического преобразования [2].

На рисунке 2.1 продемонстрировано, как при помощи пьезоэлектрического преобразования распространяются акустические волны в металлической пластине. Ввиду того, что объект контроля имеет некоторую шероховатость поверхности, то возникает воздушный зазор между самим объектом контроля и преобразователем. Образующийся воздушный зазор является большой помехой для акустических волн из-за значительной разницы в плотностях. Для того чтобы провести контроль обязательно нужно убрать воздушный зазор с помощью контактной жидкости. Контактной жидкостью может являться практически любая жидкость, плотность которой максимально приближена к плотностям объекта контроля и преобразователя. Чтобы сократить погрешность, вносимую контактной жидкостью, важно, чтобы толщина зазора была меньше длины волны распространяющихся акустических волн.

Пьезоэлектрический преобразователь может использоваться как для возбуждения, так и для приема акустических колебаний, поскольку эффект является обратимым. Акустические волны вызывают упругие деформации пьезопластины, вследствие чего появляется разность потенциалов на её металлизированных обкладках [2].

Достоинствами акустических измерительных преобразователей является:

- Контроль практически всех магнитных и немагнитных материалов;
- Широкий диапазон частот;
- Односторонний доступ к объекту контроля.

К недостаткам можно отнести:

- Сложность и иногда невозможность контроля неоднородных и крупнозернистых материалов;
- Наличие контактной жидкости. Это значит, что поверхность контролируемого объекта должна быть очищена для его плотного контакта преобразователем;

- Поскольку длина акустической волны соизмерима с толщиной гальванического покрытия, контроль практически невозможен.

Акустический метод преобразования используется в приборе УТ-111 (рисунок 2.2). Данный прибор при одностороннем доступе к объекту контроля способен измерять толщину изделий из металлов, полимерных материалов, керамики [3].



Рисунок 2.2 – Прибор УТ-111

Основные характеристики прибора УТ-111 приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные характеристики прибора УТ-111

Диапазон контролируемых толщин, мм	0,6...500
Диапазоны установки скорости ультразвука, м/с	100-9999
Дискретность показаний, мм	0,010 до 99,99 мм 0,100 от 100,0 мм
Температурный диапазон, градус С	-10...+50
Время непрерывной работы, час	12
Время измерения, не более, с	4

2.2 Магнитный метод измерения

Магнитный метод основан на зависимости параметров магнитного поля от толщины немагнитных покрытий на ферромагнитных подложках.

Для проведения исследований необходимо создать магнитное поле с известными параметрами от внешнего источника. Характеристики объекта

контроля получают исходя из изменения магнитного поля.

Существует три вида магнитных преобразователей: пондеромоторный, индукционный и магнитостатический.

2.2.1 Пондеромоторный метод контроля толщины покрытий

Пондеромоторный контроль основан на зависимости силы притяжения двух ферромагнитных материалов. Сила притяжения пропорциональна квадрату индукции, а индукция в свою очередь зависит от зазора между ферромагнитным объектом и магнитом.

При приближении магнита к ферромагнитной детали, он становится намагниченным, сила притяжения, возникающая между двумя полюсами, зависит от расстояния между магнитом и изделием. Сила притяжения (сила, необходимая для отсоединения магнита от базового материала, покрытого слоем ферромагнетика) является мерой толщины покрытия.

На рисунке 2.3 и 2.4 показано устройство для измерения толщины покрытия. Данные устройства основаны на измерении сил, возникающих под действием магнитного поля [4].

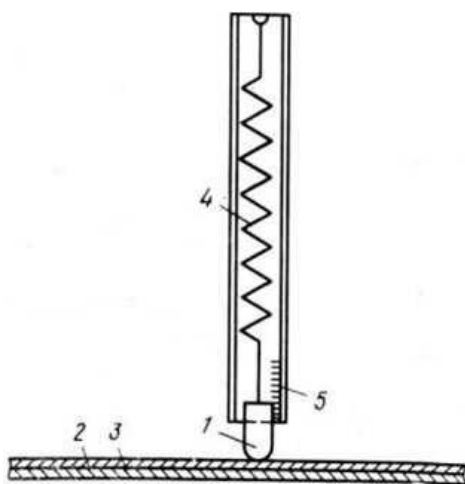


Рисунок 2.3 – Схема устройства для измерения толщины покрытия, основанного на использовании сил, вызванных действием поля постоянного магнита: 1-постоянный магнит; 2-материал покрытия; 3-основной материал; 4-пружина; 5-шкала

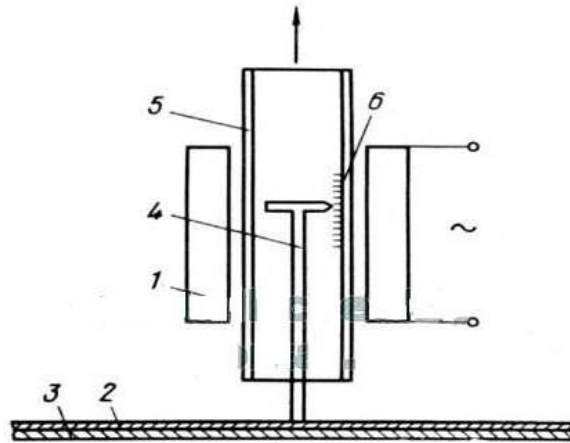


Рисунок 2.4 – Схема устройства для измерения толщины покрытия, основанного на использовании сил, вызванных действием поля электромагнита: 1-катушка магнита; 2-материал покрытия; 3-основной материал; 4-сердечник из магнитно-мягкой стали; 5-пластмассовая или стеклянная трубка; 6-шкала

С помощью данного метода можно измерить толщину слабо ферромагнитных (гальваническое никелирование) и неферромагнитных (цинковых, медных, лаковых) покрытий, нанесенных на ферромагнитный основной материал. Погрешность составляет около 10-15%.

Недостатком этого метода является низкая чувствительность и зависимость показаний от формы магнита и поверхности изделия.

Характерным представителем является толщиномер Константа М1 (рисунок 2.5) [5].



Рисунок 2.5 – Магнитный толщиномер Константа М1

Данный толщиномер предназначен для измерения толщины отвердевших немагнитных покрытий, нанесенных ферромагнитное основание.

Измерения проводятся путем прижимания опорного корпуса к покрытию изделия. Далее движок плавно поднимается относительно шкалы упорного корпуса до момента отрыва магнита от покрытия. Толщину покрытия определяют по положению указателя на шкале, расположенного на движке.

Таблица 2.2 – Технические характеристики магнитного толщиномера Константа М1

Диапазон измеряемых значений T , мкм	0 - 500; 25 - 700
Погрешность, не превышает, мкм	$\pm 0,1 T$

2.2.2 Методы, основанные на измерении магнитного потока

Данный метод основан на зависимости плотности магнитного потока от магнитной проницаемости материала, через который проходят линии магнитного поля. О мере толщины покрытия можно судить по изменению плотности магнитного потока при введении ферромагнитного материала с слабо ферромагнитным или неферромагнитным покрытием в замкнутый контур линий магнитного поля.

На рисунке 2.6 изображена схема измерения изменения магнитного потока с помощью зонда Холла [4].

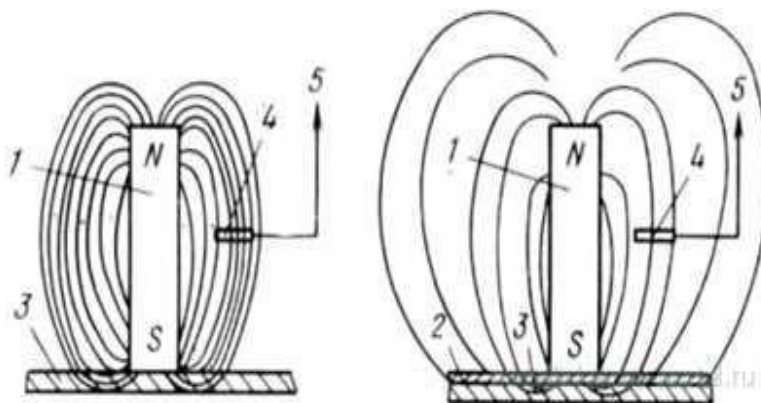


Рисунок 2.6 – Схема измерения толщины покрытия посредством определения плотности магнитного потока: 1-стержневой магнит; 2-материал покрытия; 3-основной материал; 4-зонд Холла; 5-измерительный прибор

На рисунке 2.7 показан принцип измерения толщины покрытия путем фиксации изменения геометрии линий магнитного поля [4].

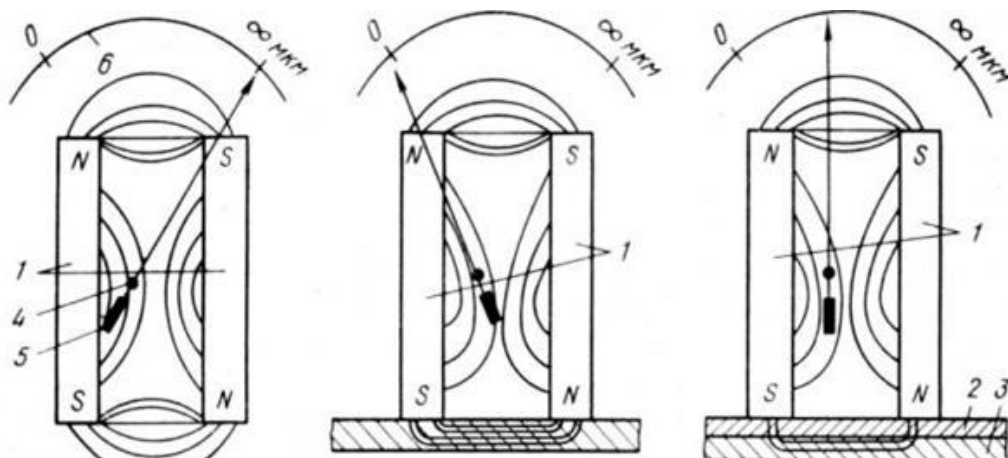


Рисунок 2.7 – Схема измерения толщины покрытия посредством фиксации изменения геометрии магнитных силовых линий: 1-стержневой магнит; 2-материал покрытия; 3-основной материал; 4-ось вращения; 5-подвижный магнит; 6- шкала

С помощью данного метода можно измерять толщину слабо ферромагнитных или неферромагнитных покрытий, нанесенных на ферромагнитное основание. Погрешность измерения составляет $\pm 10\%$.

Недостатками такого метода является зависимость показаний от температуры и ферромагнитных характеристик материала основания.

Примером магнитного толщиномера является МТ 2007 [6].



Рисунок 2.8 – Магнитный толщиномер покрытий МТ 2007

С помощью данного толщиномера можно измерять толщину гальванических, лакокрасочных и других неферромагнитных или слабо ферромагнитных покрытий, нанесенных на ферромагнитное основание. Толщиномер магнитный МТ-2007 является одним из самых известных приборов для измерения толщины покрытия.

Таблица 2.3 – Технические характеристики МТ-2007

Диапазон измерения, мкм	0-2000	0-20	0-500
Тип преобразователя	МТ20-02(МТ2-01)	МТ20-20(МТ20-01)	МФлок51(МFloc51)
Погрешность измерения, мкм	3%	3%	2%
Минимальная толщина основания, мм	0,5	0,8	0,3
Минимальный радиус кривизны выпуклой (вогнутой) поверхности, мм	25	200	10
Краевой эффект (диаметр минимальной зоны контроля), мм	20	50	4

2.2.3 Индукционный метод контроля

Индукционный метод основан на изменении магнитного сопротивления. При изменении магнитной проводимости среды меняется магнитная индукция, которую фиксирует преобразователь толщиномера. На рисунке 9 представлена схема индукционного толщиномера [7].

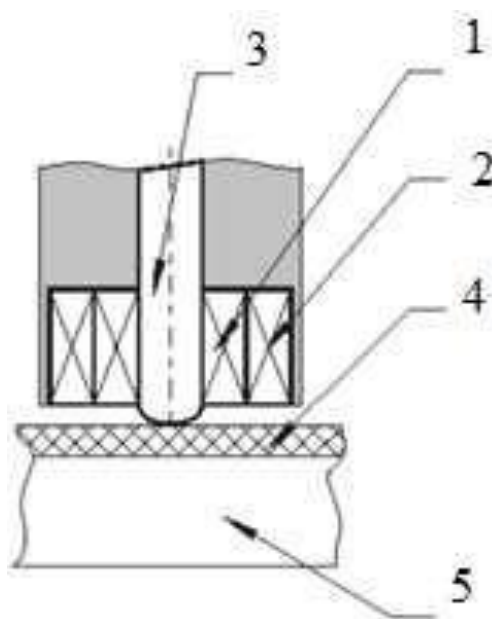


Рисунок 2.9 – Индукционный толщиномер: 1 – обмотка возбуждения, 2 - измерительная обмотка, 3 - сердечник, 4 - исследуемое покрытие, 5 - основание

Мерой толщины покрытия является напряжение, пропорциональное магнитному потоку, которое индуцируется в измерительной обмотке, установленной на сердечнике.

На рисунке 2.10 изображены две схемы устройств, предназначенных для измерения толщины индукционным способом [7].

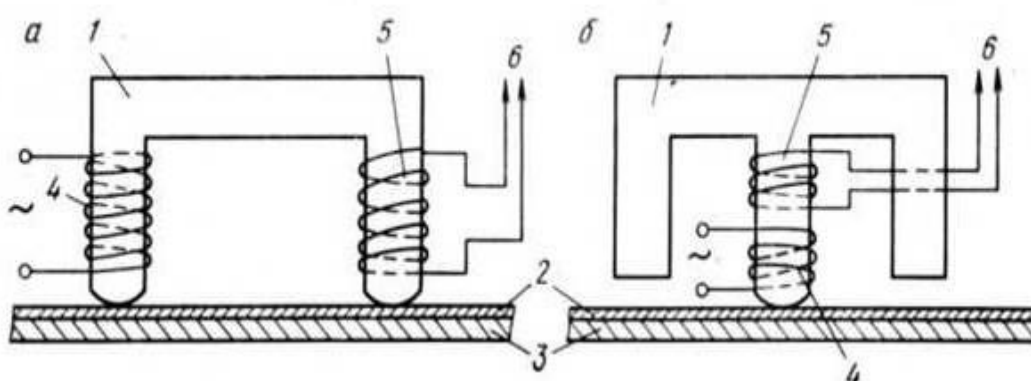


Рисунок 2.10 – Схема измерения толщины покрытия методом, основанным на измерении магнитной индукции, однополюсным (а) и двухполюсным (б) зондами: 1-сердечник магнита; 2-материал покрытия; 3-основной материал; 4- катушка возбуждения; 5-катушка измерения; 6-к измерительному прибору

Это метод позволяет измерять толщину ферромагнитных покрытий,

нанесенных на материал ферромагнитного основания. Диапазон измеренных толщин составляет от 0 до 10 мм. Погрешность измерения составляет от ± 3 до $\pm 5\%$.

Достоинства индукционного метода:

- Показания не зависят от электропроводности покрытия и основания;
- На изделиях правильной формы с хорошо подготовленной поверхностью высокая точность измерения.

Недостатки индукционного метода:

- На результаты измерений сильно влияет шероховатость поверхности;
- Трудность проведения измерений на малоразмерных деталях (винты, гайки, заклепки и т.д.) без специальной оснастки и стендов.

Представителем данного метода является магнитно-индукционный толщиномер ТТ220 [8].



Рисунок 2.11 — Магнитно-индукционный толщиномер ТТ220

ТТ220 – это магнитно-индукционный толщиномер позволяющий замерять толщину покрытий (немагнитных, таких как лак, краска) на магнитных основаниях (например, сталь) без повреждения изделия. Толщиномер позволяет печатать результаты контроля на принтере в реальном времени, либо сохранять их на встроенной памяти. Прибор давно сыскал популярность у

дефектоскопистов благодаря простоте, надежности, и невысокой цене. Выполнен в компактном форм-факторе и занесен в госреестр средств измерения.

Таблица 2.4 – Технические характеристики толщиномера Horstek TC 325

Диапазон измерений, мкм	0 - 2000
Точность, %	±1-3
Дискретность, мкм	1мкм

2.2.4 Индуктивный метод контроля

Индуктивное измерительное преобразование основано на зависимости индуктивности обмотки от параметров обмотки и магнитной цепи, в которую включена обмотка.

Индуктивность обмотки зависит и от геометрических, и от магнитных свойств всех участков магнитной цепи, следовательно, это позволяет измерить любую из этих характеристик, в том числе толщину немагнитного зазора между сердечником обмотки и ферромагнитным основанием и магнитную проницаемость материала.

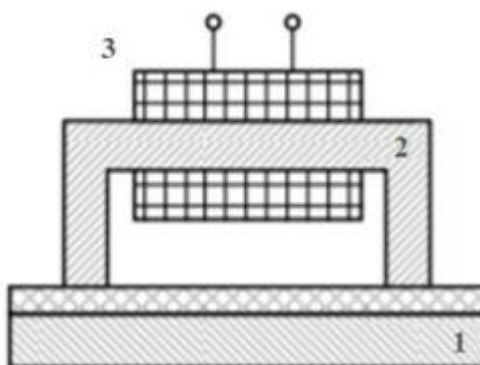


Рисунок 2.12 – Индуктивное измерительное преобразование в толщинометрии, где 1 – ферромагнитная основа, 2 – магнитный сердечник, 3 – обмотка

Рисунок 2.12 иллюстрирует, каким образом используется индуктивное измерительное преобразование в толщинометрии. На сердечник из ферромагнитного материала намотана обмотка, на которую подается переменное напряжение. Магнитный поток, вызванный переменным током обмотки, проходит по магнитопроводу, и в зависимости от зазора между

ферромагнетиками изменяется индуктивность обмотки. Данную зависимость используют для измерения толщины немагнитных покрытий [2].

Главным преимуществом описанного индуктивного измерительного преобразования является простота конструкции.

Недостатками являются:

- Ограниченный диапазон измерения толщин. Магнитное поле достаточно быстро убывает с увеличением расстояния от источника, поэтому при больших толщинах влияние ферромагнитного основания на индуктивность будет незначительным.

В качестве примера был выбран индуктивный толщиномер LEPTOSKOP 2042. Представляет из себя малогабаритный прибор, позволяющий с большой точностью измерить толщину покрытий.



Рисунок 2.13 – Индуктивный толщиномер LEPTOSKOP 2042

Таблица 2.5 – Технические характеристики

Диапазон измерения, мкм	10-1000
Предел погрешности для слоёв <100 мкм	1 %
Предел погрешности для слоев 100–1000 мкм	1 – 3 %

2.3 Вихретоковые методы контроля толщины покрытий

Если над токопроводящим металлом расположить катушку и пропустить по ней переменный ток, то в металле возникнут вихревые токи, которые оказывают влияние на первичный ток катушки посредством индукции. Насколько сильно изменится первичный ток катушки зависит от магнитных и электрических свойств, а также от геометрии объекта контролю. На рисунке 2.14 представлена схема измерения толщины вихретоковым методом.

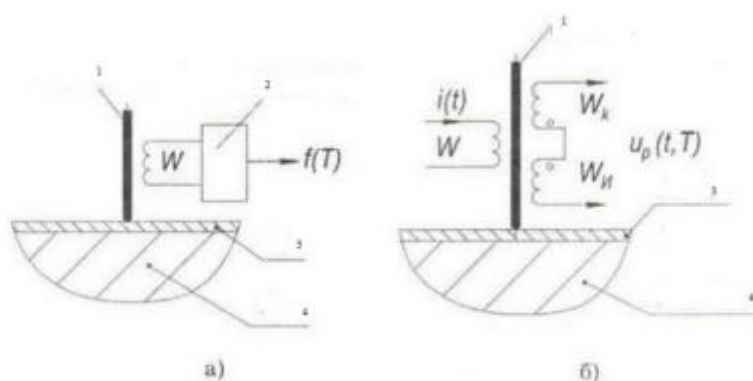


Рисунок 2.14 – Схема измерения толщины покрытия методом вихревых токов

- а) с частотным генератором; б) с фазовым и амплитудно-фазовым преобразователем: 1 – ферритовый сердечник; 2 – автогенератор; 3 – материал покрытия; 4 – основной металл

Поскольку магнитные проницаемости (в случае ферромагнитных материалов) или электропроводности основного материала и материала покрытия достаточно разные, данный метод универсален и применим для различных комбинаций материалов. Точность измерения зависит от различия этих характеристик (погрешность в среднем составляет от 3 до 5%).

Достоинствами вихретокового преобразователя являются:

- Шероховатость изделия практически не влияет на результаты измерения;
- Простота конструкции преобразователя;
- Возможность контроля малоразмерных деталей, благодаря созданию преобразователя с эквивалентным диаметром;

- Возможность проведения измерений на изделиях с переменной и высокой намагниченностью.

К недостаткам можно отнести:

- Зависимость результатов измерений от удельной электрической проводимости металлической пластины;
- Невозможность определить толщину в конкретной точке.

Существует большое количество измерителей толщины, основанных на вихретоковых измерительных преобразованиях. В частности, ярким примером такого прибора является PosiTector 6000 с выносным датчиком FNGS для измерения толщины немагнитных покрытий на ферромагнитном и неферромагнитном основании [2].



Рисунок 2.15 – Датчик FNGS прибора PosiTector 6000

Основные характеристики прибора указаны в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Основные характеристики PosiTector 6000

Диапазон контролируемых толщин, мм	1...63
Погрешность измерений	$\pm (0,2 \text{ мм} + 3\%)$
Дискретность индикации, мм	0,01, 0,001
Тип датчика	Выносной

2.4 Радиометрические методы

На способности радиоактивных излучателей вступать во взаимодействие с материалом основаны радиометрические методы. Возбуждение атомов,

вызывающее их собственное излучение, а также обратное рассеяние и поглощение излучения, сопровождают этот процесс и представляют интерес для контроля толщины покрытия.

2.4.1 Метод, основанный на измерении обратного рассеяния

Данный метод основан на обратно рассеянных частицах, которые при внедрении пучка радиоактивных частиц в материал отражаются под углом 180° . Они и служат мерой толщины рассеивающего слоя.

В случае постоянной геометрии датчиков и применения определенного источника излучения интенсивность обратного рассеяния зависит от толщины измеряемого слоя и порядкового номера вещества в периодической системе и Эмпирически было найдено следующее соотношение между интенсивностью обратного рассеяния $I_{обр}$, интенсивностью насыщения I_n , коэффициентом обратного рассеяния m_r и толщиной слоя d_s :

$$I_{обр} = I_n (1 - e^{-m_r d_s}) \quad (1)$$

Принцип метода пояснен на рисунке 2.16.

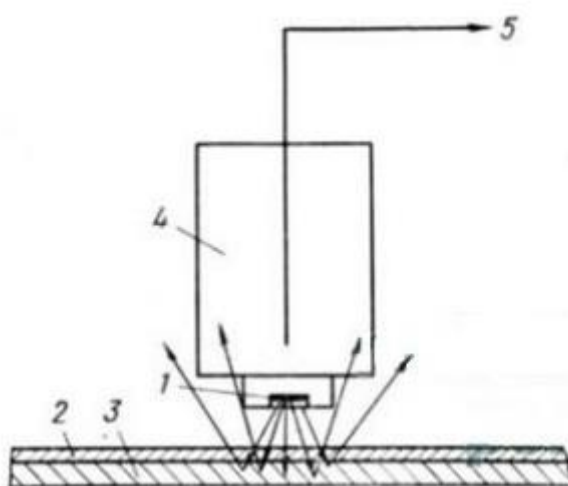


Рисунок 2.16 – Схема измерения толщины покрытия, основанного на измерении обратного рассеяния: 1 – источник излучения; 2 – материал покрытия; 3 – основной материал; 4 – детектор излучения; 5 – измерительный прибор

Данный метод применим для комбинаций материалов, у которых порядковые номера (Z_Q – основного материала, Z_n – материала покрытия) достаточно отличаются друг от друга. Ориентировочно принимают, что должно выполняться условие $|Z_Q - Z_n| > 3$.

Поскольку порядковый номер материала покрытия может быть как меньше, так и больше порядкового номера основного материала, при увеличении толщины покрытия интенсивность обратного рассеяния увеличивается или уменьшается. Причина этого эффекта пояснена на рисунке 2.17. [4]

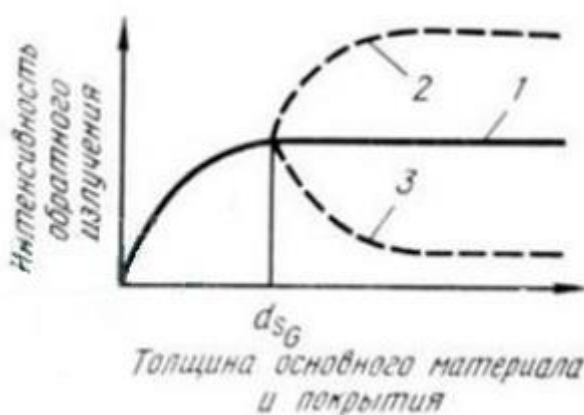


Рисунок 2.17 – Зависимость интенсивности обратного рассеяния от толщины покрытия (d_{SG} – толщина основного материала, при которой наступает насыщение обратного рассеяния): 1 – без покрытия; 2 – $Z_n > Z_Q$; 3 – $Z_n < Z_Q$

2.4.2 Рентгенофлуоресцентный метод

На рисунке 2.18 изображена схема установки для определения толщины покрытия рентгенофлуоресцентным методом [4].

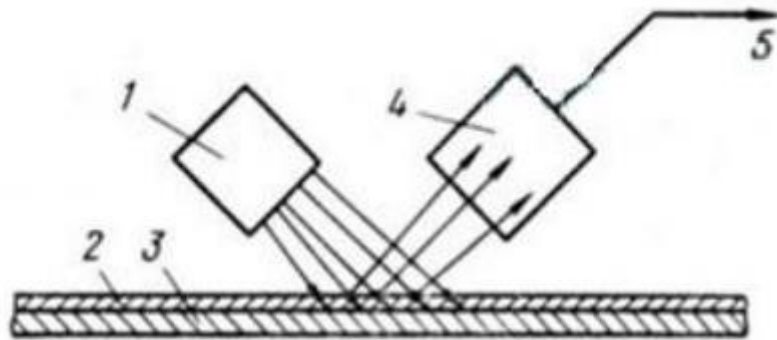


Рисунок 2.18 – Схема измерения толщины покрытия рентгенофлуоресцентным методом: 1 – источник излучения; 2 – материал покрытия; 3 – основной материал; 4 – детектор излучения; 5 – измерительный прибор

В зависимости от свойств и качества обоих материала измерения можно проводить как при возбуждении атомов основного материала, так и при возбуждении атомов покрытия. При возбуждении атомов основного материала мерой толщины является поглощение флуоресцентного излучения основным материалом, а в случае возбуждения атомов покрытия толщину слоя оценивают по интенсивности флуоресцентного излучения.

Этот метод особенно пригоден для измерения толщины очень тонких покрытий, примерно до 10 мкм. При этом должно выполняться условие $|Z_Q - Z_n| > 1$. Диаметр поля измерений должен быть не менее 10 мм.

Погрешность измерений этим методом в большинстве случаев несколько ниже, чем при использовании метода, основанного на измерении обратного рассеяния.

Рентгенофлуоресцентный метод позволяет проводить измерения как в непрерывном, так и в дискретном режиме.

Достоинствами этого метода являются: дистанционность, удобство применения в автоматизированных системах контроля, долговечность источника излучения. Существенными недостатками являются: малый диапазон измеряемых толщин, опасность для персонала, необходимость сложной тарировки.

2.5 Электрические методы

При изменении толщины материала меняются его электрические характеристики: электропроводность, диэлектрические свойства изоляционных слоев и индукция тока под действием электромагнитного поля. Ниже рассмотрены два метода, основанных на измерении этих характеристик.

2.5.1 Методы измерения электропроводности

Существует несколько методов измерения толщины покрытия, основанных на измерении электропроводности. Но основным принципом, используемым во всех вариантах, является зависимость электрического сопротивления материала покрытия от его толщины. Схема измерения представлена на рисунке 2.19 [4].

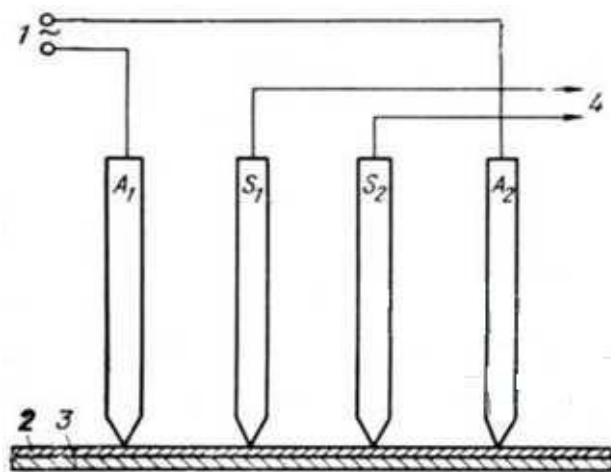


Рис. 1.11. Схема измерения толщины покрытия двухзондовым методом, основанном на измерении электропроводности: 1 — источник тока; 2 — материал покрытия; 3 — основной материал; 4 — к вольтметру

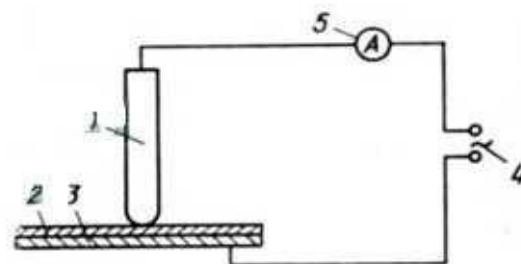


Рис. 1.12. Схема измерения толщины покрытия однозондовым методом, основанном на измерении электропроводности: 1 — измерительный электрод; 2 — материал покрытия; 3 — основной материал; 4 — регулируемое переменное напряжение; 5 — к амперметру

Рисунок 2.19 – Схемы измерения толщины

Рис. 2.19 иллюстрирует схему измерения поверхностного сопротивления токопроводящего покрытия на токонепроводящем основном материале. С помощью зондов A_1 и A_2 через покрытия пропускают ток I .

Пропорциональное сопротивлению напряжение U , возникающее на

зондах S_1 и S_2 , индицируется на шкале, калиброванной в единицах длины в соответствии со следующим соотношением:

$$U/I = 1 / d_s. \quad (2)$$

Если ток I постоянный, то измеряемое напряжение U обратно пропорционально толщине d_s покрытия и наоборот: при постоянном напряжении U ток I пропорционален d_s . Измеренное значение соответствует средней толщине покрытия между зондами S_1 и S_2 .

С помощью данного способа можно измерить толщину покрытия

Благодаря этому способу можно измерить толщину покрытий из проводящего или полупроводникового материала, нанесенного на непроводящий основной материал. Он позволяет измерять толщину от 0 до 30 мм в зависимости от материала покрытия, а погрешность измерения может составлять $\pm 2\%$. Процесс измерения является дискретным.

2.5.2 Термоэлектрический метод

Данный метод основан на эффекте появления электрического напряжения между основным металлом и металлом покрытия. Если тестовый зонд создает определенную температуру на поверхности слоя, то для данной комбинации материалов тепловое напряжение, возникающее в результате градиента температуры в покрытии и базовом материале, зависит от толщины покрытия.

Этот метод применим в том случае, если комбинация металлом обеспечивают достаточное тепловое напряжение для надежных измерений (несколько сотен мкВ).

При постоянной толщине основного металла, толщину покрытия можно определить измерением в одном месте. Если же толщина основного металла меняется, то необходимо проводить измерения до и после покрытия, а толщина последнего определяется из разницы в значениях измерения.

Поскольку эти приборы предназначены для сортировки, а не для измерения параметров ОК, их метрологическая поддержка заключается в

установлении ошибки в измерении термоэлектрической мощности с использованием стандартных устройств измерения напряжения. Как уже упоминалось, использование приборов для конкретных целей требует предварительного установления соединения термоэлектрической мощности с параметрами, по которым будет выполняться сортировка.

Преимуществами термоэлектрических устройств являются относительная простота и низкая стоимость, а также независимость результатов сортировки от геометрических параметров ОК. Недостатком является необходимость прямого электрического контакта с ОК.

Одним из примеров приборов является термоэлектрический дефектоскоп-толщиномер ТЭС-364М [11].



Рисунок 2.20 – Термоэлектрический дефектоскоп-толщиномер ТЭС-364М

Данный дефектоскоп-толщиномер ТЭС-364М предназначен для измерения толщины поверхностно-упрочненных слоев, гальванических покрытий, контроль структурного состояния поверхностного слоя сталей, который связан с химическим составом и термообработкой.

Таблица 2.7 – Технические характеристики ТЭС-364М

Диапазон контроля толщины покрытий и упрочняющих слоев	
Предельный	от 0 до 50 мкм
Пределы абсолютной погрешности при контроле толщины покрытий и упрочняющих слоев	
Ориентировочный. Определяется при калибровке по образцам из материала контролируемого изделия	$\pm (1 \text{ мкм} + 0,1Н)$, где Н – толщина покрытия
Минимальный размер контролируемого участка	0,5 x 0,5 мм

2.6. Выбор метода контроля

На основе выше описанных методов и средств измерения, были выбраны вихретоковый, индуктивный и взаимоиндуктивный методы контроля толщины гальванического покрытия.

Критерием выбора являлись следующие характеристики: пригодность метода, погрешность измерения, простота конструкции, трудоемкость измерения, влияние внешних факторов.

ГЛАВА 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Разработка НИ производится группой работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Данная выпускная квалификационная работа заключается в исследовании методов контроля толщины гальванических покрытий, используемых для защитных, декоративных и защитно-декоративных целей.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НИ, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки НИ;
2. Осуществить планирование этапов выполнения исследования;
3. Рассчитать бюджет затрат на исследования;
4. Произвести оценку научно-технического уровня исследования и оценку рисков.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В качестве потенциальных потребителей результатов проведенного исследования «Контроль толщины гальванических покрытий» выступают производственные лаборатории, где наносится гальваническое покрытие.

Примером предприятия потребителя является промышленная группа «Оптима» г. Москва.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

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. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		БЕ	БИ	БВ	КЕ	КИ	КВ
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Простота проведения	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
2. Стоимость услуги	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
3. Точность измерения	0,2	5	4	4	1	0,8	0,8
4. Универсальность метода	0,15	4	3	3	0,6	0,45	0,45
5. Безопасность метода	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
Экономические критерии оценки эффективности							
6. Цена	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
7. Повышение конкурентоспособности	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
Итого	1	33	27	25	4,75	3,9	3,6

где БЕ – измерение толщины электроемкостным методом контроля;

БИ – измерение толщины индуктивным методом контроля;

БВ – измерение толщины вихретоковым методом контроля.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \times B_i \quad (5)$$

где K – конкурентоспособность вида;

V_i – вес критерия (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

По данным оценочной карты можно увидеть, что для повышения конкурентоспособности с минимальными издержками более эффективно использовать емкостной метод контроля для измерения толщины термоизоляционных материалов.

4.3 SWOT-анализ

Произведем также в данном разделе SWOT – анализ НИ, позволяющий оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок.

Сильные стороны — это факторы, которые положительно сказываются на развитии проекта. Сюда обычно включают все, что превращает функционирование в успешную и конкурентную работу.

Слабые стороны– 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: тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

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.

На первом этапе SWOT анализа в таблице 4.2 были описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы реализации НИ.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT анализа

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
<p>С1. Данные методы все больше и больше изучаются, дорабатываются;</p> <p>С2. Методы, описанные в работе, несут в себе экономичность и ресурсоэффективность;</p> <p>С3. Актуальность и высокая технологичность методов;</p> <p>С4. Наличие опытного руководителя.</p>	<p>В1. Нетрудоемкая адаптация научного исследования под иностранные языки;</p> <p>В2. Большой потенциал применения метода в России и других странах;</p> <p>В3. Публикации о проекте в тематических журналах.</p>
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
<p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с данными методами;</p> <p>Сл2. Дороговизна и сложность оборудования для проведения экспериментов;</p> <p>Сл3. Значительные временные и интеллектуальные затраты</p>	<p>У1. Отсутствие спроса на данные методы;</p> <p>У2. Отказ от технической поддержки проекта после внедрения</p> <p>У3. Нехватка финансирования</p>

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

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 4.3 и таблице 4.4.

Таблица 4.3 - Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и возможностей

	Сильные стороны				Слабые стороны			
		C1	C2	C3	C4	Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	B1	0	0	+	+	-	0	0
	B2	+	+	+	+	+	+	+
	B3	+	+	+	0	-	+	+

Таблица 4.4 - Интерактивная матрица сильных сторон и слабых сторон и угроз

	Сильные стороны				Слабые стороны			
		C1	C2	C3	C4	Сл1	Сл2	Сл3
Угрозы проекта	У1	+	+	+	-	-	-	-
	У2	+	+	+	-	-	+	-
	У3	+	+	+	-	-	-	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей или слабых сторон и возможностей:

- B2B3C1C2; B1B2B3C3; B1B2C4;
- B2B3Сл2Сл3; B2Сл1;
- У1У2У3С1С2С3;
- У2Сл2.

Самой большой угрозой для проекта является отсутствие финансовой поддержки из-за дороговизны и сложности оборудования для контроля толщины.

Что касается слабых сторон, то для данных методов требуется привлечение опытных и квалифицированных специалистов, обеспечение обучения нового персонала со знаниями методов, используемых в толщинометрии.

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.5. Таблица содержит в себе все сильные и слабые стороны научно-исследовательского проекта, возможности и угрозы.

Таблица 4.5 - Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Данные методы все больше и больше изучаются, дорабатываются;</p> <p>С2. Методы, описанные в работе, несут в себе экономичность и ресурсоэффективность;</p> <p>С3. Актуальность и высокая технологичность методов;</p> <p>С4. Наличие опытного руководителя.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с данными методами;</p> <p>Сл2. Дороговизна и сложность оборудования для проведения экспериментов;</p> <p>Сл3. Значительные временные и интеллектуальные затраты</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Нетрудоемкая адаптация научного исследования под иностранные языки;</p> <p>В2. Большой потенциал применения метода в России и других странах;</p> <p>В3. Публикации о проекте в тематических журналах.</p>	<p>Большой потенциал применения метода в России и других странах способствует развитию и доработке методов контроля</p>	<p>Данным методам требуется привлечение опытных и квалифицированных специалистов, обеспечить обучение нового персонала со знаниями методов толщинометрии</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на данные методы;</p> <p>У2. Отказ от технической поддержки проекта после внедрения</p> <p>У3. Нехватка финансирования</p>	<p>Отсутствие спроса влияет на актуальность и технологичность методов</p>	<p>Самой большой угрозой для проекта является отсутствие финансовой поддержки из-за дороговизны и сложности оборудования для проведения экспериментов</p>

4.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию

4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ	Руководитель Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Создание процесса измерения толщины термоизоляционных материалов	Руководитель Бакалавр
	6	Разработка методики	Бакалавр

Продолжение таблицы 4.6

Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Бакалавр
Оформление отчета по НИР	8	Составление пояснительной записки	Бакалавр

4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, который зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (6)$$

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

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн..

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ по нескольким исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (7)$$

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

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

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

4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным представлением проведения научных работ является построение ленточного графика в форме диаграммы Ганта.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (8)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})}, \quad (9)$$

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

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

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

Расчет коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48.$$

Составлен план научного исследования, в котором разработан календарный план выполнения работ, представленный в таблице А.1 (приложение А). Для построения таблицы временных показателей проведения НИ был рассчитан коэффициент календарности. С помощью показателей в табл. 4.7 был разработан календарный план-график проведения НИ по теме. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта, указывающая на целесообразность проведения данного исследования.

Таблица 4.7 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ ра-бот	Вид работ	Испол-нители	Т _{ки} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февраль		март			апрель			май					
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Выбор темы ВКР	Ст, НР	1	■													
2	Составление и утверждение плана работ	НР	1	■													
3	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	2	■	■												
4	Выбор направления исследования	Ст, НР	2	■	■												
5	Календарное планирование работ	Ст, НР	2		■	■											
6	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	16			■	■	■	■								
7	Создание процесса измерения гальванических покрытий	Ст, НР	13					■	■	■							
8	Разработка методики	Ст	9							■	■	■					
9	Оценка эффективности полученных результатов	Ст	4										■	■	■		
10	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Ст	5												■	■	■
11	Написание раздела «Социальная ответственность»	Ст	1													■	
12	Оформление ВКР	Ст	5														■

 – научный руководитель;  – студент.

4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

При планировании бюджета научно-техническое исследование должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} , \quad (10)$$

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

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Результаты расчетов представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z _M), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3
Тетрадь для записей	Шт.	1	1	1	45	45	45	45
Ручка	Шт.	1	1	1	15	15	15	15
Образцы гальванического покрытия	Шт.	20	20	20	2	40	40	40

Продолжение таблицы 4.8

Электроэнергия	кВт*ч	250	300	280	3,5	875	1050	980
Итого, руб.						975	1150	1080

Общие материальные затраты составили 975 руб.

4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 4.9 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., тыс. руб.	Затраты на материалы, (Зм), тыс. руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Персональный компьютер	Шт.	1	1	1	40	40	40	40
Программное обеспечение (MathCAD)	Шт.	1	1	1	5	5	5	5
Вихретоковый измерительный преобразователь	Шт.	-	-	1	15	-	-	15
Индуктивный измерительный преобразователь	Шт.	1	1	-	10	10	10	-
Мультиметр MASTECH MY65	Шт.	1	1	1	6	6	6	6
Источник питания	Шт.	1	1	1	15	15	15	15
Итого:						76	76	81

4.5.3 Основная заработная плата исполнителя темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приводится в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Зарплата, приходящаяся на один чел.-дн.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.		
			Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Выбор темы ВКР	Ст, НР	1	1	1	5,1			5,1	5,1	5,1
2.	Составление и утверждение плана работ	НР	1	1	2	3,1			3,1	3,1	6,2
3.	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	2	2	3	2			4	4	6
4.	Выбор направления исследования	Ст, НР	2	2	2	5,1			10,2	10,2	10,2
5.	Календарное планирование работ	Ст, НР	2	3	3	5,1			10,2	15,3	15,3
6.	Подбор и изучение материалов по теме	Ст	12	13	16	2			24	26	32
7.	Создание процесса измерения толщины гальванических покрытий	Ст, НР	11	14	15	5,1			56,1	71,4	76,5

Продолжение таблицы 4.10

8.	Разработка методики	Ст	7	7	9	2	14	14	18
9.	Оценка эффективности полученных результатов	Ст	4	5	5	2	8	10	10
10.	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Ст	5	5	5	2	10	10	10
11	Написание раздела «Социальная ответственность»	Ст	1	2	2	2	2	4	4
12	Оформление ВКР	Ст	5	6	7	2	10	12	14
Итого							156, 7	185, 1	207, 3

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта и дополнительную заработную плату и рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (11)$$

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

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

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (12)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (13)$$

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 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6–дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно–технического персонала, раб. дн.

Таблица 4.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48 0	72 0
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	175

Месячный должностной оклад работника (руководителя):

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (14)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 процентов от $Z_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{с1} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке.

Тарифный коэффициент для НР = 1,866; для С = 1,407.

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 4.12

Таблица 4.12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k_t	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	Старший преподаватель	1,866	30000	0,3	0,4	1,3	66300	373145	17	63434,77
Студент	Инженер	1,407	15000	0,3	0,2	1,3	29250	18720	52	97344
Итого										160778,77

4.5.4 Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата учитывает величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы рассчитывается по формуле:

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

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

4.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды

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 формулы:

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

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 4.13, включающей в себя основную заработную плату руководителя проекта и студента, дополнительную заработную плату руководителя проекта и студента,

а также итоговые суммы отчислений во внебюджетные фонды для всех трёх исполнений.

Таблица 4.13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	63434,77	78360,6	85823,52	9515,22	11754,09	12873,53
Студент	97344	112320	127296	14601,6	16848	19094,4
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302					
Итого						
Исполнение 1	55838,46					
Исполнение 2	66223,37					
Исполнение 3	74016,41					

4.5.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (17)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Накладные расходы для исполнения 1 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (1029 + 73000 + 63434,77 + 97344 + 9515,215 + 14601,6 + 55838,46) \cdot 0,16 = 49709,48 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 2 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (1204 + 76000 + 78360,6 + 112320 + 11754,09 + 16848 + 66223,37) \cdot 0,16 = 57140,71 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 3 составили:

$$Z_{\text{накл}} = (1134 + 81000 + 85823,52 + 127296 + 12873,53 + 19094,4 + 74016,41) \cdot 0,16 = 63266,93 \text{ руб.}$$

4.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно–исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно–исследовательский проект приведено в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НИИ	1029	1204	1134	Пункт 4.5.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	73000	76000	81000	Пункт 4.5.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	156700	185100	207300	Пункт 4.5.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	24116,81	28602,09	31967,93	Пункт 4.5.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	55838,46	66223,37	74016,41	Пункт 4.5.5
6. Затраты на научные и производственные командировки	-	-	-	Отсутствуют
7. Контрагентские расходы	-	-	-	Отсутствуют
8. Накладные расходы	49709,48	57140,71	63266,93	Пункт 4.5.6
9. Бюджет затрат НИИ	360393,75	414270,20	458685,30	

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (18)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп1}} = \frac{360393,75}{458685,30} = 0,785;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп2}} = \frac{414270,20}{458685,30} = 0,903;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп3}} = \frac{458685,30}{458685,30} = 1.$$

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i \quad (19)$$

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.

Таблица 4.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	3	4

Продолжение таблицы 4.15

2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	4	3
3. Помехоустойчивость	0,15	3	4	3
4. Энергосбережение	0,15	5	3	4
5. Надежность	0,2	5	4	4
6. Материалоемкость	0,2	5	3	3
Итого	1	4,7	3,55	3,45

$$I_{p-исп1} = 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 = 4,7;$$

$$I_{p-исп2} = 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 3,55;$$

$$I_{p-исп3} = 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 3,45.$$

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

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{фин.р}} = \frac{4,7}{0,785} = 5,98;$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{фин.р}} = \frac{3,55}{0,903} = 3,93;$$

$$I_{исп3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{фин.р}} = \frac{3,45}{1} = 3,45.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 4.16).

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп1}}. \quad (20)$$

Таблица 4.16 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,785	0,903	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,85	3,55	3,45
3	Интегральный показатель эффективности	5,98	3,93	3,45
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,657	0,576

4.7 Выводы

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.