

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Контроль толщины гальванических покрытий

УДК 620.179.142.6:621.357.74

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б6Б	Восколович Дмитрий Александрович		

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
Доцент ОСГН	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Гуляев Милий Всеволодович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Борис Борисович	К.Т.Н., доцент		

Томск 2020 г.

Планируемые результаты освоения

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные и общепрофессиональные компетенции</i>		
Р1	Эффективно работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, внедрять в практическую деятельность инновационные подходы для достижения конкретных результатов, обеспечивать корпоративные интересы и соблюдать корпоративную этику	Требования ФГОС (ОК-1,2,6,ОПК-4,ОПК-8) Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	Применять основные законы и положения естественных наук и математики, экономических и гуманитарных наук знаний с учетом социальных и культурных аспектов инженерной деятельности при соблюдении требований охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности для ведения полноценной профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, ОПК-1, 3, 10) Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.3, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Осуществлять коммуникацию в профессиональной среде и в обществе, в т.ч. на иностранном языке	Требования ФГОС (ОК-5, 6, ОПК-8, ПК-17) Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Самообучаться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-7, 8, 9) Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р5	Собирать, хранить и обрабатывать информацию, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности при соблюдении основных требований информационной безопасности	Требования ФГОС (ОПК-2, 5-9) Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р6	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать их результаты с использованием инновационных методов моделирования и компьютерных сетевых технологий	Требования ФГОС (ПК-1-4). Критерий 5 АИОР (п. 1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р7	Проектировать, конструировать системы, приборы, детали и узлы с учетом обеспечения технологичности конструкции с учетом возможных рисков	Требования ФГОС (ПК-1-6, 8) Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р8	Проводить мероприятия комплексной подготовки производства в сфере профессиональной деятельности с использованием ресурсоэффективных технологий	Требования ФГОС (ПК-8-18) Критерий 5 АИОР (п. 1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р9	Обеспечивать эксплуатацию и обслуживание информационно-измерительных средств, приборов контроля качества и диагностики	Требования ФГОС (ПК-7, 19-23) Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>

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

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1Б6Б	Восколович Дмитрий Александрович

Тема работы:

Контроль толщины термоизоляционных материалов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№51-59/с от 20.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>1. Методы и средства контроля толщины гальванических покрытий</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ контролируемых гальванических покрытий 2. Анализ методов контроля толщины гальванических покрытий, принципы работы, выявление достоинств и недостатков каждого из методов 3. Выявление наиболее подходящих методов контроля для решения поставленной задачи 4. Финансовый менеджмент 5. Социальная ответственность
<p>Перечень графического материала</p>	<p>-</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
<p>Анализ методов и средств контроля толщины гальванических покрытий. Экспериментальная часть</p>	<p>Уразбеков Евгений Иванович</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Гуляев Милий Всеволодович</p>

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>10.10.2019</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент ОКД</p>	<p>Вавилова Галина Васильевна</p>	<p>к.т.н.</p>		<p>10.10.2019</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>1Б6Б</p>	<p>Восколович Дмитрий Александрович</p>		<p>10.10.2019</p>

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»
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение контроля и диагностики
 Период выполнения весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2020 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.11.2019	Обзор источников информации	20
29.11.2019	Формулирование целей и задач работы, формулирование предмета и объекта разработки	5
11.03.2020	Проведение инженерных расчетов, разработка конструкции объекта	20
11.05.2020	Разработка плана эксперимента и его проведение экспериментов	20
29.05.2020	Анализ полученных результатов и выводы о достижении цели в основном разделе ВКР	5
29.05.2020 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
05.06.2020 г.	Оформление ВКР и презентационных материалов	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вавилова Галина Васильевна	к.т.н		24.10.2019

СОГЛАСОВАНО:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б6Б	Восколович Дмитрий Александрович

Школа	Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности	Отделение школы (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Бакалавр	Направление	Приборостроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходов ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Определить целевой рынок, потенциальных потребителей результатов исследования. 2. Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке. 3. Описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы, посредством SWOT-анализа.
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определить цели и ожидания, требования проекта. Выявить возможные альтернативы автоматических систем управления светом.
3. Планирование научно-исследовательских работ	1. Определить структуры работ в рамках научного исследования. 2. Определение трудоемкости выполнения работ. 3. Разработка графика проведения научного исследования в форме диаграммы Ганта.
4. Бюджет научно-технического исследования	1. Расчет материальных затрат научно-технического исследования. 2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ. 3. Расчет основной заработной платы исполнителей темы. 4. Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы. 5. Расчет отчислений во внебюджетные фонды. 6. Учет накладных расходов.

	7.Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.
5. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Вывести интегральные показатели эффективности трех вариантов исполнения научного исследования. Определить самый эффективный вариант исполнения.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения НТИ 4. Таблица бюджета затрат на научно-исследовательский проект 	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.03.2020
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		10.03.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б6Б	Восколович Дмитрий Александрович		10.03.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Б6Б	Восколович Дмитрий Александрович

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

Тема ВКР:

Контроль толщины гальванических покрытий	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
4. Характеристика объекта исследования	Объект исследования – контроль толщины гальванических покрытий Рабочая зона – 18 корпус, 508 аудитория Оборудование – лабораторный стенд для проведения вихретокового и индуктивного контроля толщины гальванических покрытий
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны (18 корпус, 508 аудитория).
7. Производственная безопасность 2.1. Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов на рабочем месте в 508 аудитории 18 корпуса. 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия выявленных вредных факторов и опасных факторов. 2.3. Обоснование мероприятий по снижению воздействия выявленных опасных факторов.	Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы (ссылаясь на соответствующий нормативно-технический документ) при исследовании методов контроля толщины гальванических покрытий: – поражение электрическим током; – неудовлетворительное освещение; – повышенные уровни шума; – повышенные уровни электромагнитных полей (ЭМП);
3. Экологическая безопасность	– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств); – решение по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	– Анализ возможных ЧС при исследовании методов контроля толщины гальванических покрытий в 508 аудитории, 18 корпуса; – анализ наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;

	<ul style="list-style-type: none"> – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. – Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.03.2020
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Гуляев Милий Всеволодович			10.03.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б6Б	Восколович Дмитрий Александрович		10.03.2020

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 85 страниц, 24 рисунка, 22 таблицы, 17 источников.

Ключевые слова: толщинометрия, гальванические покрытия, толщиномер, гальваника, измерительные преобразования.

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

Изучены магнитные, радиационные и вихретоковые методы контроля толщины гальванических покрытий.

Проведены эксперименты по определению толщины титановых и алюминиевых пластин, имитирующих гальваническое покрытие, с помощью вихретокового, индуктивного и взаимоиנדуктивного преобразований.

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

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

Применение: дефектоскопия, структуроскопия, толщинометрия.

Оглавление

Реферат	10
Введение.....	14
1. Характеристики объекта контроля.....	15
1.1 Гальванические покрытия	15
1.2 Технология нанесения гальванического покрытия.....	16
1.3 Типы гальванических покрытий	17
2. Обзор и сравнительный анализ методов и средств контроля толщины гальванических покрытий	21
2.1 Магнитные методы контроля толщины	21
2.1.1. Метод, основанный на измерении силы притяжения.....	21
2.1.2. Метод, основанный на измерении магнитной индукции.....	22
2.1.3. Магнитостатический метод.....	24
2.1.4. Индуктивный метод.....	24
2.1.5. Достоинства и недостатки магнитных методов	27
2.2 Радиационные методы	27
2.2.1. Рентгенофлуоресцентный метод	27
2.2.2. Метод, основанный на измерении обратного рассеяния	28
2.2.3. Достоинства и недостатки радиационных методов.....	30
2.3 Вихретоковые методы контроля	31
2.3.1. Достоинства и недостатки вихретоковых методов.....	34
2.4 Выбор оптимального метода контроля толщины гальванических покрытий.....	35
3. Экспериментальная часть	37
3.1 Индуктивное и взаимоиндуктивное преобразование	37
3.2 Вихретоковое преобразование	41
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	44
Введение.....	44
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	44
4.1.1. Выявление целевого рынка.	44

4.1.2.	Анализ конкурентных технических решений	45
4.1.3.	SWOT-анализ	46
4.2	Планирование научно-исследовательских работ	50
4.2.1.	Структура работ в рамках научного исследования	50
4.2.2.	Определение трудоемкости выполнения работ	51
4.2.3.	Разработка графика проведения научного исследования	54
4.3	Бюджет научно-технического исследования.....	55
4.3.1.	Расчет материальных затрат научно-технического исследования ...	55
4.3.2.	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	56
4.3.3.	Основная заработная плата исполнителей темы.....	57
4.3.4.	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	59
4.3.5.	Отчисления во внебюджетные фонды	59
4.3.6.	Накладные расходы.....	60
4.3.7.	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта 60	
4.3.8.	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	61
5.	Социальная ответственность	64
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	64
5.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	64
5.3	Производственная безопасность.....	69
5.3.1.	Анализ выявленных вредных и опасных факторов.....	69
5.3.2.	Обоснование мероприятий по снижению воздействия опасных и вредных факторов	71
5.3.2.1.	Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	71
5.3.2.2.	Отклонение параметров микроклимата.....	75
5.3.2.3.	Электрический ток.....	75
5.3.2.4.	Вывод по электробезопасности	77
5.3.2.5.	Противопожарная безопасность при работе с персональным компьютером.....	77
5.4	Экологическая безопасность.....	78

5.5	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	79
	Заключение по разделу социальной ответственности	80
	Заключение	82
	Список использованных источников	83

Введение

Срок службы и надежность технических изделий во многом зависит от их защитных свойств по отношению к разрушающим воздействиям внешней среды, например, коррозии. Однако большинство материалов, применяемых при изготовлении деталей и изделий не обладает достаточной защитой от внешнего воздействия. Для повышения этих показателей применяются различные покрытия. В связи с этим, конечные свойства деталей и изделий зависят от толщины защитных покрытий. Как правило, недостаточная толщина покрытия не может обеспечить достаточный уровень защиты, в то время как чрезмерная толщина покрытия ведет к ухудшению механических характеристик изделия. Поэтому неразрушающий контроль толщины защитных покрытий является актуальной задачей.

Благодаря своим защитным качествам гальванические покрытия используются во всех областях промышленности. Высокие показатели защиты металлических изделий от агрессивных сред и влияния температуры способствуют широкому применению таких покрытий в электронике, радиотехнике, авиа- и автомобилестроении, строительстве. Большая цветовая палитра и эстетический внешний вид обеспечили широкое применение в производстве мебели, карнизов, внешних и внутренних деталей.

Так как для нанесения таких покрытий в том числе используются золото, серебро и другие драгоценные металлы, контроль толщины также является решением проблемы их рационального использования.

1. Характеристики объекта контроля.

1.1 Гальванические покрытия

Гальваническое покрытие представляет из себя пленку из металла, толщина которой варьируется от долей микрона до десятой доли миллиметра, нанесенную на поверхность изделия путем гальванопокрытия. Гальванические покрытия используются для повышения твердости и износостойкости, а также для придания изделию антикоррозионных и декоративных свойств.

Гальванические покрытия были открыты российским ученым Б.С. Якоби в 1836 году и были основаны на электрокристаллизации – электрохимическом процессе осаждения положительно заряженных ионов металлов на катоде (изделии), путем проведения через солевой раствор этих металлов (электролитический раствор) постоянного электрического тока. Под воздействием электрического тока соли металлов разлагаются на ионы, которые направлены на разные полюсы: отрицательно заряженные – к аноду, положительно – к катоду.

Пополнение ионов является важнейшей функцией анода в этой системе, следовательно, роль анода должен играть металл высокого качества, с минимальным количеством примесей. На практике аноды изготавливаются из металла, слой которого необходим в качестве покрытия.

Также на конечный результат нанесения гальванического покрытия влияет качество электролита. Для получения покрытия высокого качества с равномерной толщиной и мелкокристаллической структурой необходимо использовать электролиты на основе сложных соединений или простых солей с добавками поверхностно-активных веществ.

Таким образом, качество гальванического покрытия регулируется составом электролита, интенсивностью смешивания, режимом электролиза и температурой, количественно – законами Фарадея.

К наиболее значимым преимуществам покрытия изделий слоем металла при помощи гальваники можно отнести следующие:

- Гальванические покрытия могут без проблем наноситься на детали, отличающиеся даже очень сложной конфигурацией.

Формируемое при помощи данной технологии покрытие отличается высокой плотностью и равномерностью толщины.

- Покрытие, нанесенное методом гальваники, характеризуется отличной адгезией с обработанной поверхностью.

- Защитные и декоративные характеристики выполненных с помощью гальваники покрытий, если они сформированы в строгом соответствии с технологическими требованиями, находятся на самом высоком уровне.

- Толщину наносимого с помощью гальваники слоя металла можно легко регулировать.

1.2 Технология нанесения гальванического покрытия

Гальваника как технология обработки металлических изделий представляет собой электрохимический процесс, участниками которого являются обрабатываемая деталь, электролит, два электрода и электрический ток. Электролит – это токопроводящее жидкое вещество, из которого в результате прохождения через него электрического тока выделяются молекулы металла, оседающие на поверхности обрабатываемого изделия и образующие на ней тонкую пленку. Гальванические покрытия, чем они и примечательны, формируются не простым нанесением слоя металла на обрабатываемую поверхность, а в результате проникновения его молекул в поверхностный слой детали.

Для нанесения гальванических покрытий используются гальванические ванны, облицованные винилпластом, пропиленом, свинцом, либо другим материалом. Выбор материала зависит от агрессивности электролита и размера самой ванны.

Для обеспечения достаточной прочности сцепления изделия с покрытием гальванического типа необходимо провести подготовку поверхности, а именно очистить ее от оксидов и жирных загрязнений пескоструйной обработкой,

травлением или обезжириванием, а также удалить шероховатости поверхности путем полировки и/или измельчения.

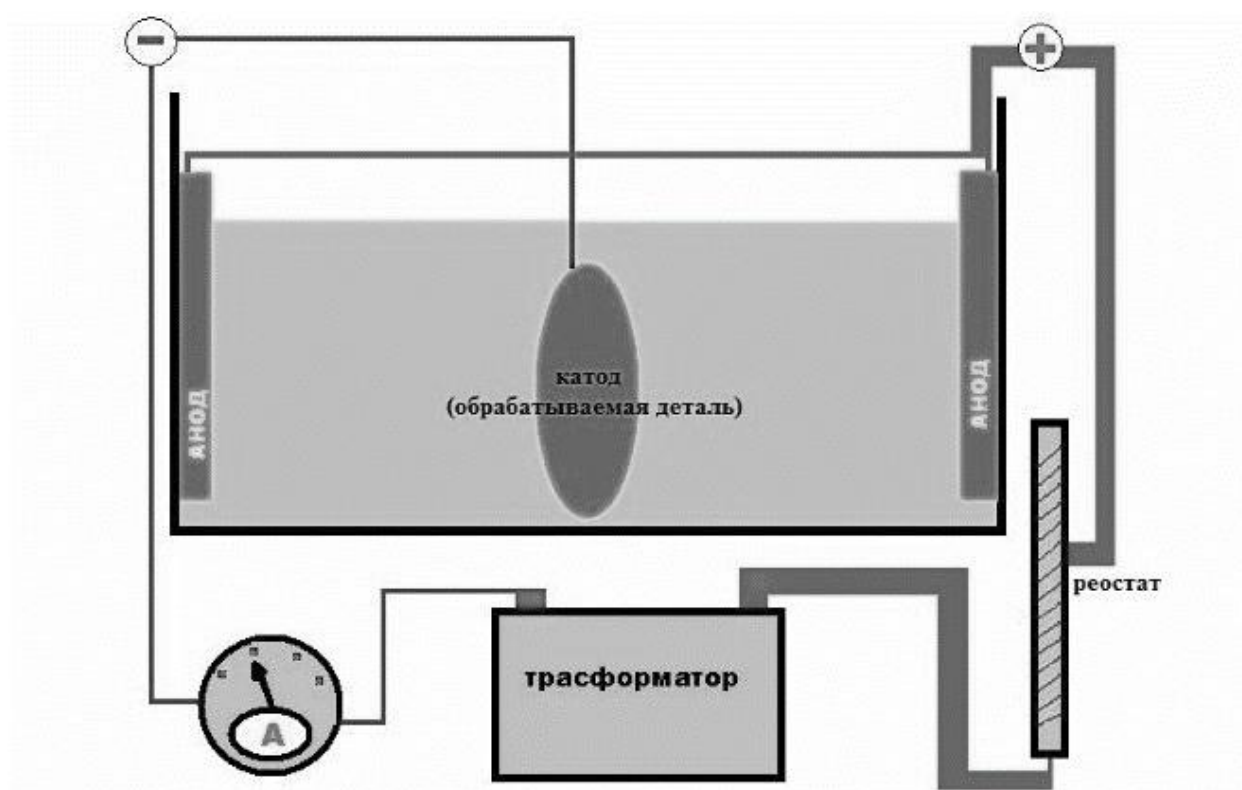


Рисунок 1 – схема гальванической ванны

1.3 Типы гальванических покрытий

Покрытия, получаемые при гальванопокрытии, достаточно многообразны. При выборе материала покрытия нужно учитывать такие факторы, как: материал и назначение детали/изделия, условия работы изделия, требуемые характеристики покрытия, приемлемость контактов спаривающих металлов, а также экономическую целесообразность. Покрытия из разных материалов используются для разных целей.

Покрытия из хрома используют для увеличения твердости изделия из металла, повышения устойчивости к высоким температурам и износу, придания отражающих свойств и в декоративных целях. Хромированное покрытие является довольно пористым само по себе, поэтому для предотвращения коррозии на изделие наносят многослойное покрытие, например, никель-

медь-никель-хром. Свойства хромового покрытия в большой степени зависят от плотности тока и характеристик электролита. Температура раствора электролита влияет на оттенок покрытия. Так, при температуре ниже 35 °С покрытие будет иметь матовый оттенок, при 55-80 °С – молочный, при 35-55 °С покрытие будет блестящим.



Рисунок 2 - Детали с хромированным покрытием

Покрытия из цинка являются наиболее распространёнными. Цинк хорошо взаимодействует с другими металлами, а оксидная пленка, образующаяся на поверхности цинкового покрытия, обладает отличными защитными свойствами. Оцинкованное покрытие с использованием радужного и бесцветного хроматирования обладает хорошими защитными показателями от коррозии и механических воздействий.



Рисунок 3 - Болты с цинковым покрытием

Покрытия из кадмия обладают показателями устойчивости химическим и атмосферным воздействиям, схожими с цинковыми покрытиями, и в последнее время применяются реже оных.



Рисунок 4 - кадмиевое покрытие на изделиях из стали

Покрытия из меди используются для создания проводящих слоев с низким сопротивлением, герметизации зазоров, восстановления изношенных поверхностей, защиты инструментов от искрения, а также в декоративных целях. Для нанесения таких покрытий используются цианистые, кислотные или щелочные электролиты.

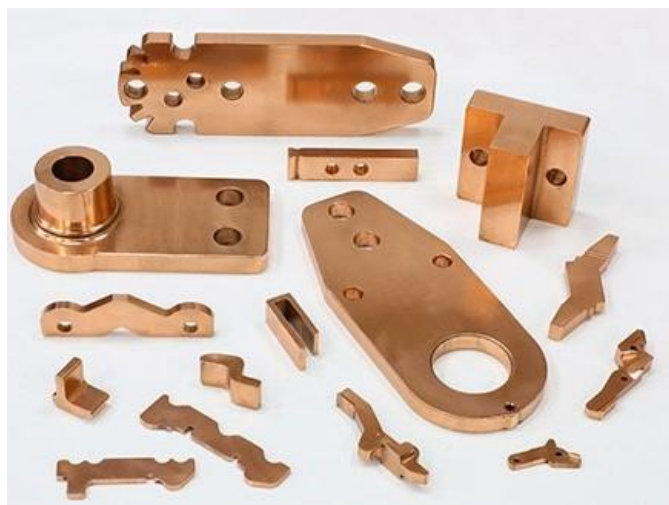


Рисунок 5 - Детали с медным покрытием

Никелевые покрытия обладают хорошей устойчивостью к атмосферным воздействиям, красивым внешним видом, а также простотой нанесения на изделия из металла.



Рисунок 6 - Крепежные детали с никелевым покрытием

Покрытия из латуни используются для защиты деталей и изделий от коррозии, создания промежуточного слоя во время никелирования и лужения деталей из стали, улучшения антифрикционных свойств титана и его сплавов.



Рисунок 7 - Детали с латунным покрытием

Покрытия из драгоценных металлов и их сплавов, полученные с помощью гальваники, получили широкое распространение в производстве ювелирных изделий. Наилучшими свойствами обладают покрытия из серебра, золота и их сплавов, полученных из электролитов, в которых содержится свободный цианид калия.

2. Обзор и сравнительный анализ методов и средств контроля толщины гальванических покрытий

2.1 Магнитные методы контроля толщины

Магнитные методы контроля основаны на зависимости между толщиной покрытия и параметрами магнитного поля. Основной магнитной характеристикой, позволяющей оценить толщину контролируемого объекта, является магнитная проницаемость материалов из которых состоит как покрытие, так и основание.

В зависимости от значения магнитной проницаемости все материалы принято разделять на три группы:

- 1) Ферромагнетики – это вещества, магнитная проницаемость которых варьируется в пределах 10^2 - 10^5 .
- 2) Парамагнетики – это вещества, магнитная проницаемость которых незначительно превышает единицу.
- 3) Диамагнетики – это вещества, магнитная проницаемость которых меньше единицы.

Вблизи парамагнетиков и диамагнетиков искажения магнитного поля довольно сложно зафиксировать и возможно только при наличии высокочувствительного оборудования. Обратная ситуация с ферромагнетиками, которые сильно искажают магнитное поле, поскольку магнитная проницаемость данных веществ во много раз больше проницаемости воздуха. В связи с этим, магнитные методы контроля рекомендуется применять при измерении толщины изделий из ферромагнетиков, с магнитной проницаемостью более 40.

Для измерения толщины покрытий используется четыре магнитных метода контроля.

2.1.1. Метод, основанный на измерении силы притяжения

Его также называют пондеромоторным методом. Данный метод является операционным и основан на зависимости силы притяжений двух ферромагнетиков.

Сила притяжения появляется при приближении магнита к детали из ферромагнетика, зависит от расстояния между ними и является мерой толщины толщины покрытия.

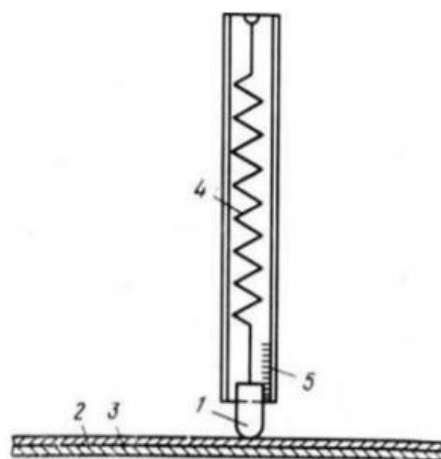


Рисунок 8 – Схема устройства для измерения толщины пондеромоторным методом: 1 – постоянный магнит; 2 – покрытие из неферромагнитного материала; 3 – основание из ферромагнетика; 4 – пружина; 5 – измерительная шкала.

Данный метод преимущественно используется для измерения толщины слоев из неферромагнитных (медных, цинковых, лаковых) или слабоферромагнитных (никелевых) покрытия толщиной до 10 мм, нанесенных на основание, выполненное из ферромагнетика.

К преимуществам метода можно отнести простоту применения и дешевизну, однако данный метод обладает низкой чувствительностью. Погрешность измерения составляет порядка 10-15%.

Метод может использоваться для контроля гальванических покрытий некоторых типов, например, цинковых, медных и никелевых.

2.1.2. Метод, основанный на измерении магнитной индукции

Данный метод также называется индукционным и является наиболее распространенным среди толщиномеров, основанных на магнитных методах контроля.

Метод работает следующим образом:

На магнитный сердечник устанавливается обмотка, через которую пропускают электрический ток (катушка возбуждения). Далее, на этот же сердечник устанавливается вторая обмотка (измерительная), на которой индуцируется напряжение, пропорциональное магнитному потоку. В данном случае, мерой толщины служит величина этого напряжения.

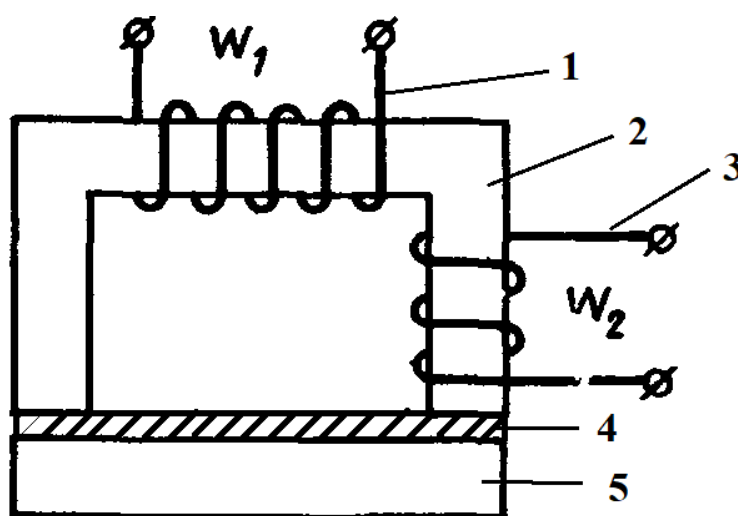


Рисунок 9 - Схема измерения толщины покрытия индукционным методом: 1 – возбуждающая катушка; 2 – магнитный сердечник; 3 – измерительная катушка; 4 – покрытие; 5 – основание.

Индукционный метод применим для контроля толщины покрытий из неферромагнитных и слабоферромагнитных материалов, нанесенных на ферромагнитную основу. По сравнению с пондеромоторным, обладает большей точностью измерения, погрешность в среднем составляет $\pm 3-5\%$. Допустимый диапазон измерения – 0-10 мм.

В особых случаях метод может использоваться для измерения толщины ферромагнитного покрытия на основании из неферромагнитного материала. При этом, толщина измеряемого покрытия не должна превышать 1 мм.

2.1.3. Магнитостатический метод

Данный метод основан на определении напряженности магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом. При увеличении величины зазора изменяется магнитное сопротивление цепи, что приводит к изменению магнитного потока в этой цепи. На рисунке ниже приведены две простейшие схемы толщиномеров, основанных на магнитостатическом методе: с П-образным электромагнитом (а) и постоянным стержневым магнитом (б).

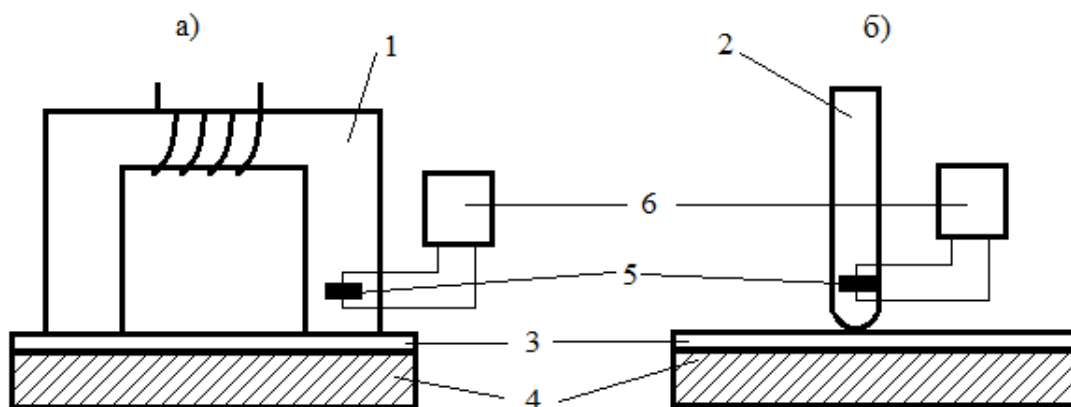


Рисунок 10 - Схемы магнитостатических толщиномеров: 1 – П-образный электромагнит; 2 – стержневой постоянный магнит; 3 – покрытие, выполненное из неферромагнитного или слабоферромагнитного материала; 4 – основание из ферромагнетика; 5 – датчик Холла; 6 – измерительный прибор.

Данный метод используется для определения толщины покрытий, выполненных из неферромагнитных и слабоферромагнитных материалов, нанесенных на основание из ферромагнетика. В связи с этим, метод может использоваться для контроля цинковых, медных, свинцовых и некоторых других видов гальванических покрытий. Диапазон измеряемой толщины составляет 0-10 мм, с погрешностью измерения $\pm 10\%$.

2.1.4. Индуктивный метод

Данный метод основан на зависимости индуктивности обмотки, по которой протекает электрический ток, от параметров магнитной цепи, в которую включена эта обмотка.

Под индуктивностью понимают способность обмотки создавать магнитное поле и чем выше значение индуктивности, тем более сильное магнитное поле создается данной обмоткой при определенном значении электрического тока.

Пример использования индуктивного метода для измерения толщины представлен на рисунке ниже:

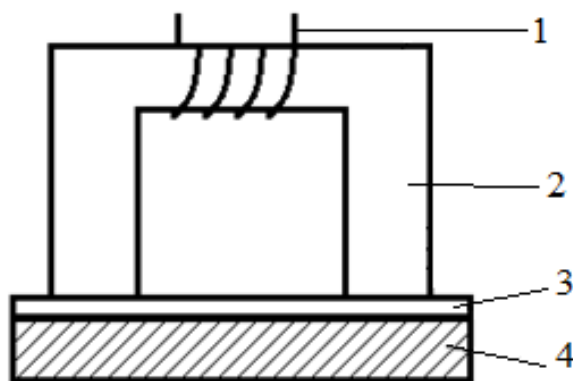


Рисунок 11 – Схема индуктивного преобразователя: 1 – возбуждающая обмотка; 2 – ферромагнитный сердечник; 3 – покрытие из немагнитного материала; 4 – основание из ферромагнетика.

Индуктивный метод позволяет измерять толщины покрытий, изготовленных из неферромагнитных или слабоферромагнитных материалов, нанесенных на ферромагнитное основание. В контроле толщины гальванических покрытий может применяться для измерения толщины покрытий из меди, свинца, цинка, никеля и некоторых других.

В качестве примера толщиномера, основанного на магнитных методах контроля, можно привести магнитный толщиномер покрытий ТМИ-200МГ4. Данный прибор обладает индукционным датчиком и предназначен для контроля толщины гальванических и изоляционных покрытий, нанесенных на ферромагнитное основание с диапазоном измерения от 1 до 20 мм.



Рисунок 12 - Магнитный толщиномер ТМИ-200МГ4: 1 – индукционный преобразователь; 2 – электронный блок.

Таблица 1 - технические характеристики магнитного толщиномера ТМИ-200МГ4

Характеристики толщиномера	ТМИ-200МГ4
Диапазон измеряемых толщин покрытий, мм	от 1 до 20
Минимальный диаметр трубы, мм	32
Пределы допускаемой абсолютной погрешности, мм, не более	$\pm(0,03h+0,1)$
Цена единицы наименьшего разряда, мм, в диапазоне измерений:	
от 1 до 10	0,01
от 10 до 20	0,1
Время измерения в одной точке, с, не более	3
Питание от двух элементов типа АА, Вольт	3
Потребляемый ток, мА, не более	12
Время непрерывной работы от элементов питания, час, не менее	30
Габаритные размеры, мм, не более	160×70×30
Масса, кг, не более	0,35

2.1.5. Достоинства и недостатки магнитных методов

Магнитные методы контроля толщины покрытий обладают следующими преимуществами:

- электрические свойства материала покрытия не влияют на точность измерения;
- магнитные методы обладают большой глубиной проникновения;
- для проведения замеров достаточно одностороннего доступа;
- данные методы контроля не несут опасности для персонала при проведении измерений.

К недостаткам методов можно отнести:

- влияние магнитных свойств материала на результаты измерений;
- возможность контроля покрытий, нанесенных на основание только из ферромагнитных материалов;
- необходимость повторного проведения тарировки по эталонам толщины при применении другой комбинации материалов покрытия/основания;
- зависимость результатов измерения от кривизны и чистоты обработки контролируемого изделия.

2.2 Радиационные методы

Основу данных методов составляет регистрация и последующий анализ ионизирующего излучения при его контакте с контролируемым объектом. Для измерения толщины покрытий используют метод обратного рассеяния и рентгенофлуоресцентный метод.

2.2.1. Рентгенофлуоресцентный метод

Метод основан на возбуждении атомов контролируемого изделия, вызывающее их собственное излучение. Причем, в зависимости от свойств и качеств материалов покрытия/основания, измерения возможно проводить при возбуждении атомов одного из них. Однако, в зависимости от выбранного объекта облучения, мерой толщины выступают разные параметры. Так, при

возбуждении атомов основания толщина покрытия оценивается по поглощению флуоресцентного излучения материала основы. При возбуждении атомов материала покрытия мерой толщины служит интенсивность излучения.

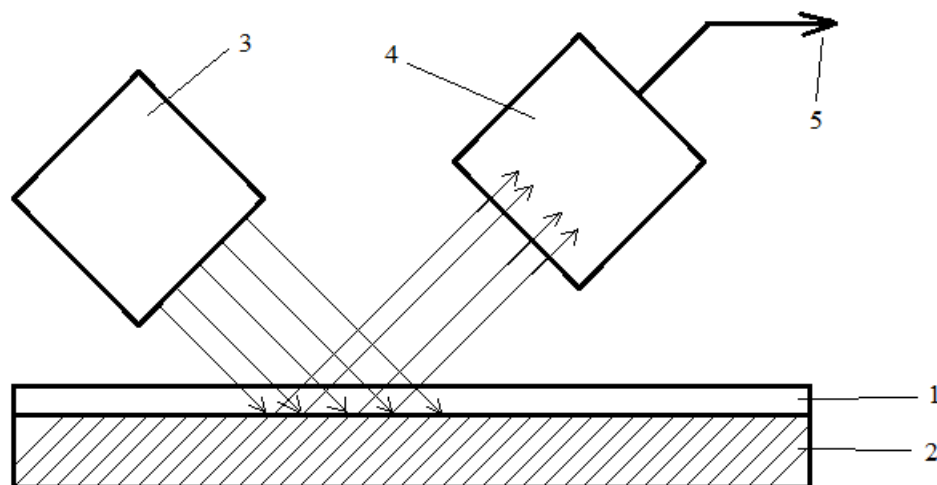


Рисунок 13 - Схема измерения толщины рентгенофлуоресцентным методом: 1 – покрытие; 2 – основание; 3 – источник излучения; 4 – детектор излучения; 5 – измерительный прибор.

Метод пригоден для измерения покрытий малой толщины, примерно до 10 мкм. При этом, для использования метода должно выполняться условие:

$$|Z_Q - Z_N| > 1,$$

где Z_Q – порядковый номер материала основания;

Z_N – порядковый номер материала покрытия.

К достоинствам данного метода можно отнести удобство применения в автоматизированном контроле, долговечность источника излучения, дистанционный контроль. В то же время, метод обладает низким диапазоном измерения и представляет опасность для исследовательского персонала, что является существенными недостатками.

2.2.2. Метод, основанный на измерении обратного рассеяния

Мерой толщины в данном методе является доля частиц, отраженных под углом 180° . Принцип действия метода представлен на рисунке ниже:

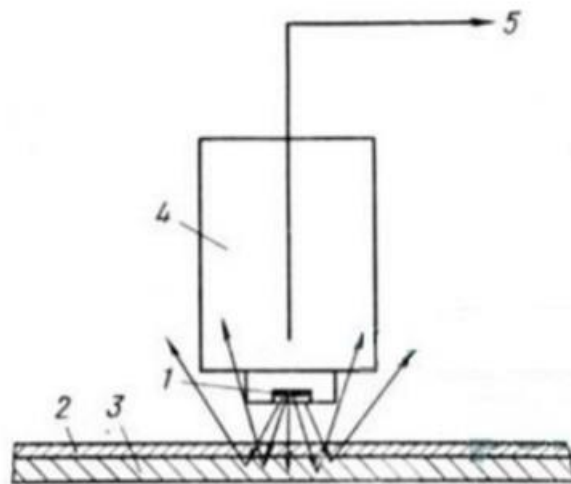


Рисунок 14 - Схема измерения толщины с помощью метода обратного рассеяния: 1 – источник излучения; 2 – материал покрытия; 3 – материал основания; 4 – детектор излучения; 5 – измерительный прибор.

Данный метод применим для любых комбинаций материалов, при выполнении следующего условия:

$$|Z_Q - Z_N| > 3,$$

где Z_Q – порядковый номер материала основания;

Z_N – порядковый номер материала покрытия.

С учетом того, порядковый номер материала основания может быть больше или меньше номера материала покрытия, фиксируемая интенсивность обратного рассеяния будет меняться при увеличении или уменьшении толщины покрытия.

Графически, зависимость между интенсивностью рассеяния и толщиной покрытия можно представить следующим образом:

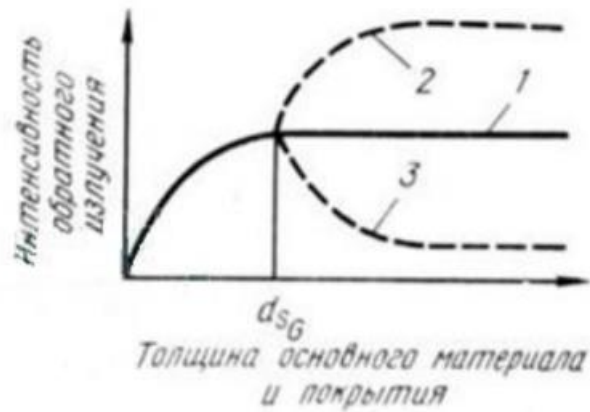


Рисунок 15 - Зависимость интенсивности обратного рассеяния от толщины, где d_{sG} – толщина основного материала, при которой на ступает насыщение обратного рассеяния; 1 – при отсутствии покрытия; 2 – при $Z_Q < Z_N$; 3 - при $Z_Q > Z_N$.

2.2.3. Достоинства и недостатки радиационных методов

К достоинствам данных методов относятся:

- возможность бесконтактного контроля;
- большой срок службы источников излучения;
- отсутствие влияния магнитных и электрических свойств материалов на результаты измерений;
- низкое влияние шероховатости и чистоты обработки поверхности на результаты измерений;
- возможность контролировать толщину покрытий в процессе их нанесения.

Недостатками этой группы методов являются:

- необходимость тщательной и сравнительно сложной тарировки для каждой пары материалов основы и покрытия;
- высокая стоимость измерительного оборудования;
- процесс измерения занимает длительное время;
- использование методов требует соблюдения особых мер безопасности, так как процесс измерения представляет опасность для персонала.

2.3 Вихретоковые методы контроля

Вихретоковые методы контроля основаны на возбуждении вихревых токов в объекте контроля с помощью переменного магнитного поля и зависимости параметров этих токов от свойств объекта.

Физическая основа этой группы методов следующая: проведение переменного тока через катушку, которая находится над объектом из токопроводящего металла, приведет к возникновению в этом объекте вихревых токов, которые посредством индукции оказывают влияние на первичный ток катушки. Величина изменения первичного тока зависит от магнитных, электрических и геометрических свойств объекта, а значит, и от толщины проводящего слоя.

Визуально схему работы данного метода можно представить следующим образом:

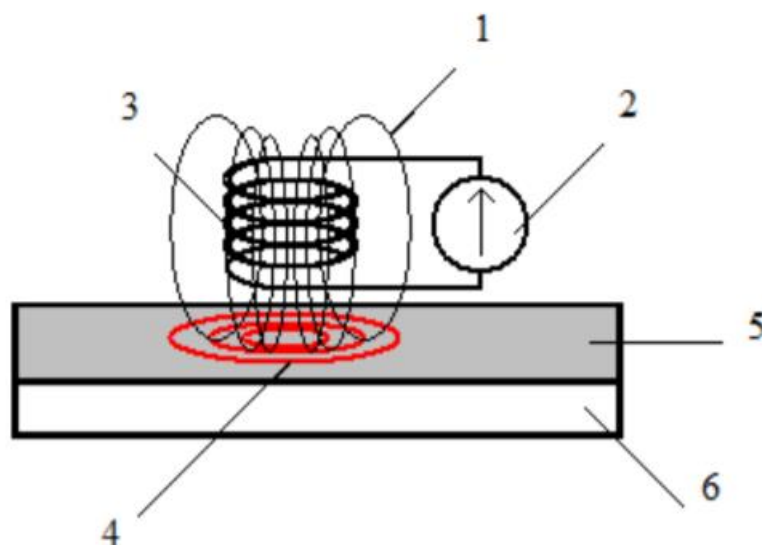


Рисунок 16 - Контроль толщины вихретоковым методом: 1 – переменное магнитное поле; 2 – генератор переменного тока; 3 – индукционная обмотка; 4 – вихревые токи; 5 – токопроводящий материал покрытия; 6 – материал основания.

Существует несколько методов вихретокового контроля толщины металлических покрытий. Различие между ними заключается в выборе

информативных и мешающих параметров. На сегодняшний день наибольшее распространение получили следующие методы:

1) Частотный

Информативным параметром является отношение частоты основного сигнала к опорному и построению зависимости полученного значения от толщины покрытия. С точки зрения реализации, это самый простой метод, но, в тоже время, обладает самой низкой точностью среди прочих, так как используется только один информативный параметр.

2) Фазовый

Информативными параметрами фазового метода являются частота, позволяющая оценить глубину проникновения вихревых токов в объект контроля, и сдвиг фазы сигнала на выходе относительно входного.

3) Амплитудный

Также, как и в предыдущих случаях, частота является одним из информативных параметров данного метода. Вторым информативным параметром является отношение амплитуды сигнала на выходе относительно амплитуды сигнала на входе.

4) Амплитудно-фазовый

Является объединением двух методов и позволяет проводить измерения толщины диэлектрического покрытия на электропроводящем основании.

Погрешность измерения для любого из этих методов колеблется в районе $\pm 3-5\%$.

В вихретоковой толщинометрии используются следующие комбинации материалов покрытий/оснований:

- электропроводное покрытие из неферромагнетика на электропроводном основании. При такой комбинации электропроводности материалов покрытия и основания должны отличаться минимум в три раза. Также, толщина исследуемого покрытия должна быть меньше глубины проникновения вихревых токов.

- электропроводное неферромагнитное покрытие на токонепроводящем основании. Как и в прошлом случае, глубина проникновения вихревых токов должна превышать толщину покрытия.

- токонепроводящее покрытие на электропроводном основании из неферромагнитного материала.

В качестве примера толщиномера, основанного на вихретоковом преобразовании, можно привести вихретоковый толщиномер ТМ-3. Данный прибор предназначен для измерения толщины гальванических покрытий, таких как цинк, никель, кадмий, хром наносимых на основание из стали и гальванических покрытий на неферромагнитных материалах (латунь, медь, серебро, алюминий и пр.) и может хранить в памяти до 5000 результатов измерений. Толщиномер применяется в различных областях промышленности и используется для контроля крупногабаритных изделий со сложной геометрической формой.



Рисунок 17 - Вихретоковый толщиномер покрытий ТМ-3

Таблица 2 - Технические характеристики толщиномера ТМ-3

Диапазон толщин	измеряемых	0-100 мкм (на ферромагнитном или неферромагнитном основании в зависимости от модели)
-----------------	------------	--

Продолжение таблицы 2

Дискретность показаний	1, 0.1, 0.01 или 0.001 задается при программировании шкалы
Шкалы	10 программируемых с клавиатуры или с ПК, до 10 опорных точек для линейной аппроксимации
Режим автоматической сигнализации брака (АСБ)	есть
Режим непрерывного отображения результатов	нет
Программное обеспечение	Dlogger, ScaleM
Связь с ПК	есть
Питание	3 элемента "АА"
Время работы толщиномера	не менее 50 часов
Автоотключения	через 90 сек
Диапазон рабочих температур	от -10 С до +50 С
Размер электронного блока толщиномера (В x Ш x Д)	170 мм x 85 мм x 30 мм
Масса толщиномера	350 г
Цена	55 200р.

2.3.1. Достоинства и недостатки вихретоковых методов

Достоинствами данной группы методов являются:

- малое влияние шероховатости поверхности объекта контроля на результаты измерений;
- высокая точность измерений;
- возможность контроля изделий, обладающих переменной и высокой намагниченностью;
- возможность контроля малоразмерных изделий.

К недостаткам методов относятся:

- возможность влияния температуры на результаты измерений;
- зависимость результатов измерения от параметров электропроводности контролируемого объекта, что делает необходимым хранение нескольких градуировочных характеристик в памяти прибора.

2.4 Выбор оптимального метода контроля толщины гальванических покрытий

Опираясь на изложенную выше информацию, можно сделать вывод о пригодности рассмотренных методов для контроля толщины гальванических покрытий.

Радиационные методы являются пригодными для контроля толщины гальванических покрытий, обладают такими достоинствами, как отсутствие необходимости контакта излучателя с контролируемым изделием, долгим сроком службы источников излучения и независимости результатов измерения от магнитных и электрических свойств контролируемого объекта. Однако, данный вид контроля является самым дорогим, процесс контроля является трудоемким и требует наличия специалистов высокой квалификации. Также, при несоблюдении техники безопасности, использование радиационного контроля представляет опасность для персонала. В связи с этим, радиационные методы контроля не являются оптимальными для решения поставленной задачи.

Вихретоковые методы контроля также являются подходящими для контроля толщины гальванических покрытий. Они обладают высокой точностью измерений, при этом результаты измерений не зависят от магнитных свойств объекта контроля. Однако, электрические свойства контролируемых материалов, в частности электропроводность, оказывают влияние на результат измерений. А поскольку гальванические покрытия являются проводящими и наносятся на проводящее основание, использование данного метода требует градуировки прибора при каждой смене материала покрытия и основания. В связи с этим, вихретоковые методы не являются оптимальными для решения поставленной задачи.

Магнитные методы контроля подходят для контроля толщины гальванических покрытий. К их преимуществам относится отсутствие необходимости двустороннего доступа, а также отсутствие влияния электрических свойств объекта контроля на результат измерений. Недостатками данной группы методов являются влияние магнитных свойств объекта контроля

на результат измерений и возможность контроля покрытий, нанесенных на основание только из ферромагнетика. Однако, так как гальванические покрытия выполняются из немагнитных материалов и наносятся на основание из ферромагнетика, данные недостатки не учитываются.

В связи с этим, для решения поставленной задачи наиболее подходящими являются именно магнитные методы контроля.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Целью данного раздела является сравнение индукционного толщиномера с другими измерителями толщины гальванических покрытий, с экономической точки зрения

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективностей исследования.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

4.1.1. Выявление целевого рынка.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок.

Целевой рынок – это определенная группа людей, на которых нацелено предложение товара или услуги. Целевой рынок состоит из множества групп потенциальных потребителей, отличающихся друг от друга по множеству параметров.

Исходя из определения термина, заинтересованными группами людей можно считать научных сотрудников биологического контроля, проживающих на территории России и СНГ, проводящих исследования об влиянии света на рост растений, с использованием фитотронов или вегетационных камер.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

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

Основными конкурентами в данном исследовании является прибор Elcometer 456 (толщиномер покрытий со встроенным) К1 и толщиномер покрытий Константа К6Г (К2).

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1 подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							

Продолжение таблицы 7

1. Удобство эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
2. Надежность	0,12	5	4	2	0,6	0,48	0,24
3. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,08	4	4	5	0,32	0,32	0,4
4. Простота эксплуатации	0,15	4	3	4	0,6	0,45	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	4	5	3	0,20	0,25	0,15
2. Цена	0,3	5	3	2	1,5	0,9	0,6
3. Послепродажное обслуживание	0,15	3	2	4	0,45	0,3	0,6
4. Наличие сертификации разработки	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,20
Итого	1	38	29	25	4,32	3,45	3,21

Проведённый анализ конкурентных технических решений показал, что ТМ-20МГ4 толщиномер покрытий является наиболее экономически выгодным и эффективным набором для проведения контроля гальванических покрытий.

Полученные данные позволят провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего усовершенствования.

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.

Ниже представлена SWOT матрица, на основе оценки конкурентоспособности разрабатываемого проекта:

Таблица 8 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Относительно невысокая стоимость разработки.</p> <p>С2. Возможность расширений прибора, с помощью наборов датчиков.</p> <p>С3. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С4. Простота послепродажного обслуживания</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Узкий целевой рынок</p> <p>Сл2. Малое кол-во квалифицированных кадров, способных работать с данным видом контроля.</p> <p>Сл3. Низкая информированность рынка</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2. Использование разработок спонсоров.</p> <p>В3. Повышение стоимости разработок зарубежных конкурентов.</p> <p>В4. Использование опыта работы с данным типом приборов, для разработки проекта.</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Развитие разработок конкурентов.</p> <p>У3. Увеличение сроков поставок комплектующих от поставщиков.</p>		

Сопоставим сильные стороны научно-исследовательского проекта с внешними условиями окружающей среды. Это должен помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Для этого построим интерактивную матрицу проекта.

Каждый фактор помечается либо знаком «+» – сильное соответствие, знаком «-» – слабое соответствие, либо знаком «0» – если есть сомнения в том, что поставить.

Таблица 9 – Интерактивные матрицы проекта

Сильные стороны проекта и возможности					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	-	-	0	+
	B2	+	+	+	0
	B3	-	0	-	-
	B4	0	+	0	0

В ходе анализа интерактивной матрицы получаем следующую запись сильно коррелирующих сторон и возможностей: B1C4; B2C1C2C3; B4C2. В результате можно говорить об единой природе B2 по отношению к C1 и C2, а также B2 и B4 к C2.

Слабые стороны проекта и возможности				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	-
	B2	-	+	-
	B3	+	-	-
	B4	-	-	-

В ходе анализа интерактивной матрицы получаем следующую запись сильно коррелирующих сторон и возможностей: B2Сл2; B3Сл1.

Возможность нейтрализации угрозы с помощью сильных сторон проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	-	0	-	-
	У2	+	-	-	+
	У3	+	+	-	+

В ходе анализа интерактивной матрицы получаем следующую запись сильно коррелирующих сторон и угроз: У2C1C4; У3C1C2C4. В результате анализа делаем вывод, что У3 представляет наиболее значительную угрозу при реализации проекта.

Соотношение угроз со слабыми сторонами проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	-	+
	У2	+	-	-
	У3	-	+	-

В ходе анализа интерактивной матрицы получаем следующую запись сильно коррелирующих сторон и угроз: У1Сл1Сл3; У2Сл1; У3Сл2.

Проводим итоговый анализ интерактивных матриц проекта, с помощью итоговой матрицы SWOT-анализа:

Таблица 10 – SWOT-анализ.

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Относительно невысокая стоимость разработки.</p> <p>С2. Возможность расширений возможности прибора, с помощью наборов датчиков.</p> <p>С3. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С4. Простота послепродажного обслуживания</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Узкий целевой рынок</p> <p>Сл2. Малое кол-во квалифицированных кадров, способных работать с данным видом контроля.</p> <p>Сл3. Низкая информированность рынка</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2. Использование разработок спонсоров.</p> <p>В3. Повышение стоимости разработок зарубежных конкурентов.</p> <p>В4. Использование опыта работы с данным типом приборов, для разработки проекта.</p>	<p>1. Большой спрос на приборы контроля гальванических покрытий, производственных и бытовых целях.</p> <p>2. Финансирование и поддержка разработки поддержит развитие идеи энергоэффективности и экономичности системы;</p>	

Продолжение таблицы 10

<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитие разработок конкурентов. У3. Увеличение сроков поставок комплектующих от поставщиков.</p>	<p>1. Коммерческого потенциала у данного исследования нет и оно в большей степени олицетворяет теоретическую значимость полученных результатов, результаты НИИ актуальны для предприятий, заинтересованных в повышении качества контроля, тем самым в повышении срока службы деталей машин, повышении качества изготавливаемой продукции.</p>	<p>1. Проблема в отсутствии у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с гальваническим методом контроля, так как для работы требуются знания в области неразрушающего контроля.</p>
--	---	---

В этом разделе были рассмотрены сильные и слабые стороны проекта, угрозы и его возможности. После анализа полученных данных, было выявлено как можно компенсировать слабые стороны проекта и нейтрализовать его угрозы с помощью сильных сторон разработки.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований необходимо по каждому виду запланированных работ установить соответствующую должность исполнителей. Также необходимо составить перечень этапов работ в рамках этого научного исследования, а также провести распределение исполнителей по видам работ.

В таблице 6 составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель

Продолжение таблицы 11

	2	Календарное планирование выполнения ВКР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	Инженер

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5} \quad i,$$

Где, $t_{ож\ i}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.; t_{\min} - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; t_{\max} - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

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.

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, календ. дн.; T_{pi} - продолжительность одной работы, раб. дн.; k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}$$

Где, $T_{кал}$ – количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k_{студента} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{366}{366 - 100 - 18} = 1,48$$

$$k_{кал.рук} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{366}{366 - 88 - 18} = 1,40$$

Тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ T_k нужно округлить до целых чисел. Результаты расчетов приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Ожидаемая трудоемкость и продолжительность работы.

№	Содержание работ	Исполнители работы	Трудоемкость работ, чел.-дн.			Продолжительность работ, раб.дн/кал.дн	
			t_{mini}	t_{maxi}	$t_{ожі}$	T_{pi}	$T_{кал}$

Продолжение таблицы 12

1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	2	3	2,4	2,4	3
2	Выбор направления исследования	Научный руководитель	2	3	2,4	2,4	3
3	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель	1	3	1,8	1,8	2
4	Подбор и изучение литературы по теме исследования	Инженер	22	27	24	24	24
5	Анализ существующих систем автоматического управления светом	Инженер	8	10	8,8	8,8	9
6	Разработка структурной схемы системы	Инженер	7	9	7,8	7,8	8
7	Расчет и разработка принципиальной схемы контроллера	Научный руководитель, Инженер	3	4	3,4	1,7	2
8	Оценка эффективности применения проектируемого изделия	Научный руководитель	3	4	3,4	3,4	4
9	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Научный руководитель, Инженер	1	3	1,8	0,9	1
10	Выполнение других частей работы (финансовый менеджмент, социальная ответственность)	Инженер	10	15	12	12	12
11	Подведение итогов и оформление работы	Инженер	15	20	17	17	17

На основе представленной таблицы формируем календарный план-график проведения научного исследования.

4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее наглядным и удобным представлением графика научных работ является диаграмма Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 13 – Диаграмма Ганта

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кал.} , кал.дн.	Продолжительность работ																
				Янв.			Фев.			Март			Апр.			Май			Июн.	
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление ТЗ	Руководитель	3	■																
2	Выбор направления исследования	Руководитель	3	■																
3	Календарное планирование	Руководитель	2	■																
4	Изучение литературы	Инженер	24		■	■	■													
5	Анализ существующих систем	Инженер	9			■	■													
6	Разработка структурной схемы	Инженер	8					■	■											
7	Разработка принципиальной схемы	Руководитель и инженер	2						■	■										
8	Оценка эффективности	Руководитель	4								■	■								
9	Согласование работы	Руководитель и инженер	1								■	■								
10	Выполнение других частей работы	Инженер	12									■	■	■						

11	Подведение итогов	Инженер	17																	
----	-------------------	---------	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования, необходимо обеспечить полное и достоверное отражение всех расходов, связанных с его выполнением.

4.3.1. Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Проведем данные об стоимости всех материалов, используемых при разработке проекта. Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} \quad (5)$$

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;

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Ниже представлена таблица материальных затрат:

Таблица 14 – Материальные затраты.

Наименование	Ед. измерения	Количество			Цена за ед. с НДС, руб.			Затраты на материалы, (Z_m), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3

Продолжение таблицы 14

Набор первичных измерительных преобразователей	шт.	6	6	6	754	754	754	4524	4524	4524
Основной измерительный прибор	шт.	1	1	1	33000	58696	83300	33000	58696	83300
Электро энергия	кВт/Час	150	150	150	3,50	3,50	3,50	445,55	445,55	445,55
Картридж для принтера	шт.	1	1	1	1190	1190	1190	1369	1369	1369
Итого	Исполнение 1				Исполнение 2			Исполнение 3		
	39338,55				65034,55			89638,55		

4.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данной статье отражены затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ. Также необходимо учесть затраты на доставку и монтаж в размере 15% от цены. Стоимость оборудования в дальнейшем учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Сводная таблица по расчетам затрат на специальное оборудование приведена ниже:

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ.

№ п/п	Наименование оборудования			Количество единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс.руб.			Общая стоимость оборудования, тыс.руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	ОС Windows	ОС Windows	ОС Windows	1	1	1	4000	4000	4000	4000	4000	4000

Продолжение таблицы 15

2	Пакет Microsoft Office	Пакет Microsoft Office	Пакет Microsoft Office	1	1	1	2019	2019	2019	2019	2019	2019
3	Autodesk AutoCAD 2018	Autodesk AutoCAD 2018	Autodesk AutoCAD 2018	1	1	1	2062 1	2062 1	2062 1	2062 1	2062 1	2062 1
Итого:									2664 0	2664 0	2664 0	

4.3.3. Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включена основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, которые участвуют в выполнении работ по данной теме. В состав заработной платы также включены премиальные выплаты, которые выплачиваются ежемесячно в размере 20-30% от оклада.

Статья включает основную заработную плату работников и дополнительную заработную плату, рассчитанную по следующей формуле:

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

Где, $Z_{осн}$ —основная заработная плата;

$Z_{доп}$ — дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по формуле (7):

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (7)$$

Где, T_p —продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.(таблица 12);

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

В свою очередь среднедневная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (8)$$

Где, $Z_{\text{м}}$ —месячный должностной оклад работника, руб.;

M — количество месяцев работы без отпуска в течение года (12 для руководителя и 10 для бакалавра);

$F_{\text{д}}$ —действительный годовой фонд рабочего времени научнотехнического персонала, раб. дн. (таблица 16).

Таблица 16 – Баланс рабочего времени.

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

В свою очередь месячный должностной оклад работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (9)$$

Где, $Z_{\text{тс}}$ —заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ — премиальный коэффициент, равный 30% от $Z_{\text{тс}}$;

$k_{\text{д}}$ —коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_{\text{р}}$ —районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата находится из произведения тарифной ставки работника первого разряда на тарифный коэффициент $k_{\text{т}}$ и учитывается по единой для бюджетных организаций тарифной сетке.

Все проведенные выше расчеты сведены в итоговую таблицу 17:

Таблица 17 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель и	Разря д	k_t	$Z_{тс}$	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m	$Z_{дн}$	T_{p1}	T_{p2}	T_{p3}	$Z_{осн1}$	$Z_{осн1}$	$Z_{осн1}$
Уразбеков Евгений Иванович	-	-	95	0, 3	0, 5	1, 3	222, 3	46, 7	78	86	82	3642, 6	6708	7052
Восколович Дмитрий Александров ич	-	-	49	0, 3	0, 2	1, 3	114, 6	23, 2	68	74	71	1577, 6	5032	5254
Итого $Z_{осн}$												5220, 2	1174 0	1230 6

4.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

В этом разделе отражены затраты на дополнительную заработную плату, состоящую из доплат за отклонение от нормальных условий труда, выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Рассчитывается по формуле ниже:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп} \quad (10)$$

Где, $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования обычно принимается равным 0,12 – 0,15).

4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье отражены обязательные отчисления, установленные законодательством Российской Федерации органами государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования.

Величины отчислений во внебюджетные фонды определяется по следующей формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (11)$$

Где, $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, действует ставка 27,1%).

Таблица 18 – 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	3642,6	6708	7052	509,964	939,12	987,28
Студен дипломник	1577,6	5032	5254	220,864	704,48	735,56
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0.271					
Итого						
Исполнение 1	$Z_{внеб} = 0,271 * (5220,2 + 730,828) = 5951,028$					
Исполнение 2	$Z_{внеб} = 0,271 * (11740 + 1643,6) = 13383,6$					
Исполнение 3	$Z_{внеб} = 0,271 * (12306 + 1722,84) = 14028,84$					

4.3.6. Накладные расходы

В данном разделе указаны прочие затраты, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по формуле ниже:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} \quad (12)$$

Где, $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы равный примерно 16%.

4.3.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице (19):

Таблица 19 – Расчет бюджета затрат на научно-исследовательский проект.

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НИИ	39338,55	65034,55	89638,55	Пункт 6.4.1

Продолжение таблицы 19

2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.	26640	26640	26640	Пункт 6.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы.	5220,2	11740	12306	Пункт 6.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы.	730,828	1643,6	1722,84	Пункт 6.4.4
5. Отчисления во внебюджетные Фонды.	5951,028	13383,6	14028,84	Пункт 6.4.5
6. Накладные расходы.	24921,79	37901,36	46187,59	Сумма ст. 1÷6
7. Бюджет затрат НТИ.	102802,4	156343,1	190523,8	

4.3.8. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности каждого требуемого параметра производится на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Данный показатель получается в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования.

Интегральный финансовый показатель определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{фин}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (13)$$

Где, Φ_{pi} —стоимость i-го варианта исполнения;

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности определяется по формуле (14):

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (14)$$

Где, a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,1	4	5	2
2. Удобство в эксплуатации	0,3	4	3	4
3. Энергосбережение	0,15	3	5	1
4. Надежность	0,25	5	2	4
5. Воспроизводимость	0,1	3	1	5
6. Материалоемкость	0,1	5	4	3
ИТОГО	1	4,1	3,15	3,35

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется по формуле:

$$I_{испi} = \frac{I_{риспi}}{I_{финi}}$$

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{испi}}{I_{испi+1}}$$

Полученные данные сведены в общую сравнительную таблицу эффективности разработки 16, что позволит выбрать наиболее подходящий вариант решения поставленной в работе задачи с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности:

Таблица 21 – Сравнительная таблица эффективности разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
-------	------------	-------	-------	-------

Продолжение таблицы 21

1	Интегральный финансовый показатель	0,81	0,83	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,4	4,15	4,25
3	Интегральный показатель эффективности	5,43	5	4,25
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,74	0,63	0,7

По результатам определения ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности было выбрано исполнение 1 научно-исследовательского проекта с коэффициентом эффективности 0,74.