

Школа - Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки - 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
 Отделение школы (НОЦ) - Отделение электронной инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка системы неразрушающего контроля металлических изделий сложной геометрии
УДК 620.179.1:621.774.019

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А6А	Сюй Бовэнь		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Болотина И. О.	К.Т.Н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лежнина И. А.			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Гуляев М. В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Иванова В.С.	К.Т.Н.		

**Запланированные результаты обучения по направлению электроника и
наноэлектроника**

Код резул ьтата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной высокоэффективной электронной техники
P2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
P3	Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной электронной техники различного назначения с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере электронного приборостроения, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности

P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
Элективная группа «Инжиниринг в электронике»	
P13	Проектировать, конструировать, проводить необходимые инженерные расчеты и испытания для обеспечения качественной и надежной работы высокотехнологичных электронных и механотронных приборов, систем и устройств и средств их испытаний.
P14	Проводить сопровождение технологического процесса изготовления изделий микроэлектроники.
P15	Проектировать, конструировать, проводить моделирование, верификацию и уточнение разработанных микро и наноразмерных электромеханических систем и цифровых схем для их управления включая разработку физического прототипа.
Элективная группа «Промышленная электроника»	
P16	Осуществлять профессиональную деятельность в области разработки, проектирования и эксплуатации преобразователей электрической энергии высокоэффективной электронной техники.
P17	Разрабатывать, проектировать, использовать в профессиональной деятельности устройства, приборы и системы аналоговой и цифровой электронной техники различного назначения.
P18	Проектировать, проводить технологическое сопровождение создания и осуществлять эксплуатацию электронных средств и электронных систем для обеспечения долговечного бесперебойного функционирования бортовых комплексов управления (БКУ).

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

Школа - Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки - 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
 Отделение школы (НОЦ) - Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ В.С. Иванова
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
1А6А	Сюй Бовэнь

Тема работы:

Разработка системы неразрушающего контроля металлических изделий сложной геометрии	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 45-32/с от 14.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020
--	------------

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>Система неразрушающего контроля металлических изделий сложной геометрии.</p> <p>Напряжение питания усилителя и усилителя ВРЧ: 9В</p> <p>Напряжение источника питания генератора: 15В</p> <p>Рабочая частота генератора: 2.5МГц</p> <p>Длительность импульса: 0.2мкс</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>	<ul style="list-style-type: none"> • Обзор литературы; • Разработка структурной схемы; • Разработка принципиальной схемы; • Расчеты и описание; • Алгоритм работы системы; • Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; • Социальная ответственность; • Заключение.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Раздел «Финансовый менеджмент»	Маланина Вероника Анатольевна
Раздел «Социальная ответственность»	Гуляев Милий Всеволодович

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

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

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Болотина Ирина Олеговна	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А6А	Сюй Бовэнь		

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

Школа - Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки - 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
 Уровень образования - бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) - Отделение электронной инженерии
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного 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:	08.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.12.2020	<i>Обзор литературы по методам и средствам неразрушающего контроля металлических изделий</i>	10
10.02.2020	<i>Разработка структурных схем системы неразрушающего контроля металлических изделий сложной геометрии и подсистемы ультразвуковой томографии</i>	25
10.03.2020	<i>Расчет элементов принципиальной схемы подсистемы ультразвуковой томографии и выбор компонентов</i>	35
08.04.2020	<i>Разработка алгоритма работы системы неразрушающего контроля металлических изделий сложной геометрии</i>	20
19.05.2020	<i>Финансовый менеджмент</i>	5
19.05.2020	<i>Социальная ответственность</i>	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Болотина И. О.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Иванова В.С.	к.т.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1А6А	Сюй Бовэнь

Школа	ИШНКБ	Отделение	ОЭИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях, нормативно-правовых документах;
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Определение структуры плана проекта и трудоёмкости работ, разработка графика проведения НИ, бюджет НИ.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Определение интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности и сравнительной эффективности вариантов исполнения

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение потенциалов потребителя результатов исследования, SWOT-анализ, определение возможных альтернатив проведения научных исследований.
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование этапов работы, определение календарного графика трудоёмкости работы, расчет бюджета.

Перечень графического материала

<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График Гантта 4. Альтернативы проведения НИ 5. График проведения и бюджет НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А6А	Сюй Бовэнь		

Реферат

Выпускная квалификационная работа выполнена на 97 страницах, содержит 26 рисунков, 25 таблицу, 21 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, металлические изделия, ультразвуковая томография, электронная схема, расчет элементов.

Объектом исследования является система неразрушающего контроля металлических изделий сложной геометрии.

Цель работы – разработать систему неразрушающего контроля металлических изделий сложной геометрии.

В процессе исследования проводились: разработка структурной схемы системы неразрушающего контроля металлических изделий сложной геометрии, разработка и расчет принципиальной схемы УЗ подсистемы.

В результате исследования была разработана структурная схема системы неразрушающего контроля и принципиальная схема УЗ подсистемы. Также бы проведен анализ принципиальной схемы УЗ подсистемы и описан алгоритм работы системы неразрушающего контроля пространственно-сложных изделий.

Область применения: металлообрабатывающая промышленность.

В будущем планируется создание оборудования для неразрушающего контроля, использующего данную систему неразрушающего контроля.

Оглавление

Введение.....	11
1 Обзор литературы.....	12
1.1 Известные методы неразрушающего контроля металлических изделий	12
1.2 Существующие приборы и установки неразрушающего контроля металлических изделий.....	15
1.3 Преимущества и недостатки методов.....	21
2 Структурные схемы.....	23
2.1 Обоснование структурной схемы установки системы.....	23
2.2 Обоснование структурной схемы ультразвукового блока.....	25
3 Расчет элементов принципиальной схемы.....	28
3.1 Генератор импульсов.....	28
3.2 Атенюатор.....	33
3.3 Усилитель.....	34
3.4 Усилитель ВРЧ.....	38
3.5 Полосовой фильтр.....	41
3.6 Драйвер АЦП.....	42
3.7 АЦП.....	44
3.8 Система синхронизации.....	45
4 Алгоритм работы системы.....	47
4.1 Введение.....	47
4.2 Концепция внедрения современных измерительных систем и информационных технологий в производстве пространственно-сложных фасонных деталей.....	47
4.3 Автоматизированная подсистема ультразвуковой томографии.....	49
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53

Введение

Неразрушающий контроль относится к методу проверки и испытания образцов без повреждения образцов. С развитием современной науки и техники лазерные, инфракрасные, микроволновые, жидкокристаллические и другие технологии были использованы в области неразрушающего контроля, а традиционные технологии неразрушающего контроля значительно обогатили методы применения благодаря развитию современных технологий.

Неразрушающий контроль является незаменимым и эффективным инструментом промышленного развития, он в определенной степени отражает уровень промышленного развития страны, и его важность была признана.

Неразрушающий контроль - это NonDestructive Testing, сокращенно обозначаемый как NDT, в котором используются принципы излучения, ультразвука, инфракрасного излучения, электромагнитного излучения и т. Д. Без ущерба для производительности обнаруженного объекта. Технология в сочетании с приборами для обнаружения дефектов, химических и физических параметров материалов, деталей и оборудования.

Особенности НК:

- Не разрушает проверяемый объект;
- 100% проверка может быть достигнута;
- Найдите дефекты и сделайте оценки, чтобы оценить качество проверяемых объектов;
- Он может выносить суждения о причинах дефектов и правилах разработки для продвижения соответствующих отделов для улучшения производственных процессов и качества продукции;
- Регулярные проверки ключевых деталей во время эксплуатации и даже долгосрочный мониторинг для обеспечения безопасности при работе и предотвращения несчастных случаев [1].

1 Обзор литературы

1.1 Известные методы неразрушающего контроля металлических изделий

1.1.1 Рентгеновские методы

Лучи (включая рентгеновские лучи, высокоэнергетические рентгеновские лучи, γ -лучи, нейтронные лучи и т. Д.) Будут ослабевать при прохождении через материал, уменьшая их интенсивность. Степень ослабления зависит от типа исследуемого материала, типа излучения и проникновения. Расстояние между двумя частями различается из-за ослабления падающих лучей каждой частью, и распределение интенсивности проецируемых лучей будет неравномерным. Таким образом, могут быть обнаружены дефекты на поверхности или внутри объекта, включая тип, размер и распределение дефектов.

В соответствии со свойствами излучения, которые могут сделать пленку чувствительной, могут возбуждать флуоресцентное вещество и ионизировать газ, методы обнаружения излучения в основном делятся на: фотографический метод, перспективный метод (флуоресцентный экран), метод обнаружения ионизации и метод промышленного лучевого телевидения. В настоящее время наиболее широко используемым методом является фотография.

Принцип радиографического контроля: поместите пленку (светочувствительный материал) за испытательным образцом, чтобы записать интенсивность луча после того, как луч проникнет в заготовку, сформируйте отрицательную пленку после обработки в темной комнате и оцените дефекты продукта в соответствии с изображением неровной черноты.

1.1.2 Ультразвуковые методы

Ультразвуковой контроль также называют ультразвуковым тестированием с отражением импульсов, принцип которого заключается в использовании зонда для преобразования высокочастотных электрических импульсов в высокочастотные механические волны (то есть ультразвуковые волны). Ультразвуковые волны вводятся в заготовку через связующий агент. Ультразвуковые волны сталкиваются с неоднородными интерфейсами во время распространения. Отражение, преломление и преобразование формы сигнала будут иметь место. Отраженные ультразвуковые волны поглощаются зондом через связующий агент. В соответствии с характеристиками принимаемых ультразвуковых волн оценивается сам образец и его внутренние дефекты, а также характеристики дефектов.

Основная информация для оценки дефектов испытательного образца:

- Существование и амплитуда различных прерывистых сигналов отражения изнутри материала;
- Время распространения звука между падающим сигналом и полученным сигналом;
- Энергия после прохождения звуковой волны через материал ослабляется.

1.1.3 Оптическая топография

Тип неразрушающего контроля, основанный на воздействии светового излучения на объект и регистрации результата этого эффекта, называется оптическим контролем. Традиционно делятся на три типа методов:

- Зрение (и визуально-оптические методы) основано на личных качествах оператора (лаборанта): опыт, способности, зрение. Он очень доступен и прост в реализации, что объясняет его универсальность. Визуальный осмотр может быть выполнен без каких-либо оптических средств. На крупных заводах он может эффективно обнаруживать общие дефекты,

геометрические формы и нарушения размеров. Визуальный оптический анализ проводится с помощью оптических средств, таких как увеличительное стекло или микроскоп. У него низкая производительность, поэтому он часто сочетается с видением. (рис.1)

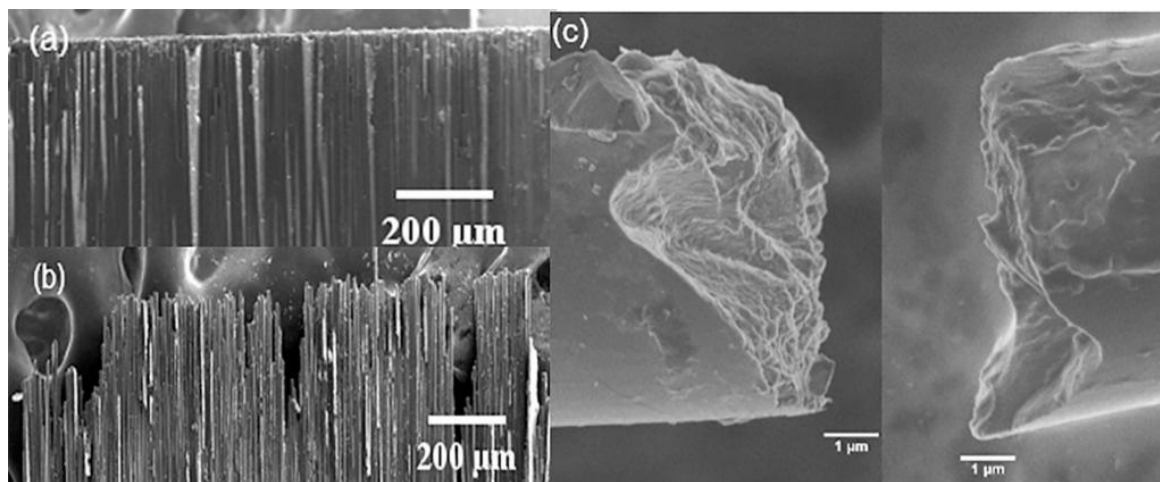


Рисунок 1 – Визуально-оптический метод

- Фотометрический метод, метод спектроскопии и телевизионный метод основаны на измерениях прибора, и его субъективность является низкой. Эти виды оптического неразрушающего контроля необходимы для измерения геометрии, площади поверхности, управления коэффициентами ослабления, оценки ширины полосы или отражательной способности и обнаружения дефектов.
- Методы интерференции, дифракции, фазового контраста, рефракции, помутнения, поляризации, стробоскопического и голографического методов основаны на волновых характеристиках света. С их помощью можно контролировать изделия из прозрачных или полупрозрачных для излучения света материалов [2].

1.2 Существующие приборы и установки неразрушающего контроля металлических изделий

Прибор для неразрушающего контроля относится к типу испытательного оборудования, которое не повреждает и не влияет на будущие эксплуатационные характеристики или использование материалов или заготовок. Он может обнаружить дефекты, существующие в материале или заготовке и на поверхности, и может определить внутренний состав, структуру, физические свойства и состояние материала или заготовки.

1.2.1 Рентгеновские приборы

В радиографическом дефектоскопе субъект подвергается воздействию рентгеновских, α , β и γ -лучей и нейтронов. Источник излучения - рентгеновский аппарат, радиоизотоп, линейный ускоритель, бетатрон, малоинвазивный. Радиационное изображение дефекта будет преобразовано в радиографическое изображение (рентгенография), электрический сигнал (рентгенография) или световое изображение (радиационная эндоскопия, радиография) на выходном экране оптического преобразователя или устройства излучения.

1. Рентгеновский аппарат

Рентгеновский аппарат — совокупность оборудования для получения и использования рентгеновского излучения. Используется в медицине (рентгенография, рентгеноскопия, рентгенотерапия), дефектоскопии, неразрушающем контроле. Рентгеновские аппараты особой конструкции применяются в рентгеноспектральном и рентгеноструктурном анализе.

Рентгеноскопия — это наиболее часто используемый метод неразрушающего контроля на большинстве предприятий. Рентгеновская томография — сравнительно новая технология, которая существенно расширяет возможности рентгеновского контроля и может применяться для

решения задач многих отраслей науки и промышленности.

2. Компьютерная томография лопатки турбины, изготовленной методом селективного лазерного сплавления

Задача: поиск и анализ дефектов.

Материал изделия: жаропрочный сплав на основе никеля.

Установка: система компьютерной томографии GE v | tome | x c450.

Размер вокселя: 86 мкм.

Затраченное время: 2 часа.

Результат: обнаружен внутренний потенциальный дефект, обозначенный на снимке красным цветом. Использование томографии позволило в короткий срок не только определить наличие потенциального дефекта, но и идентифицировать его местоположение (рис.2) [3].

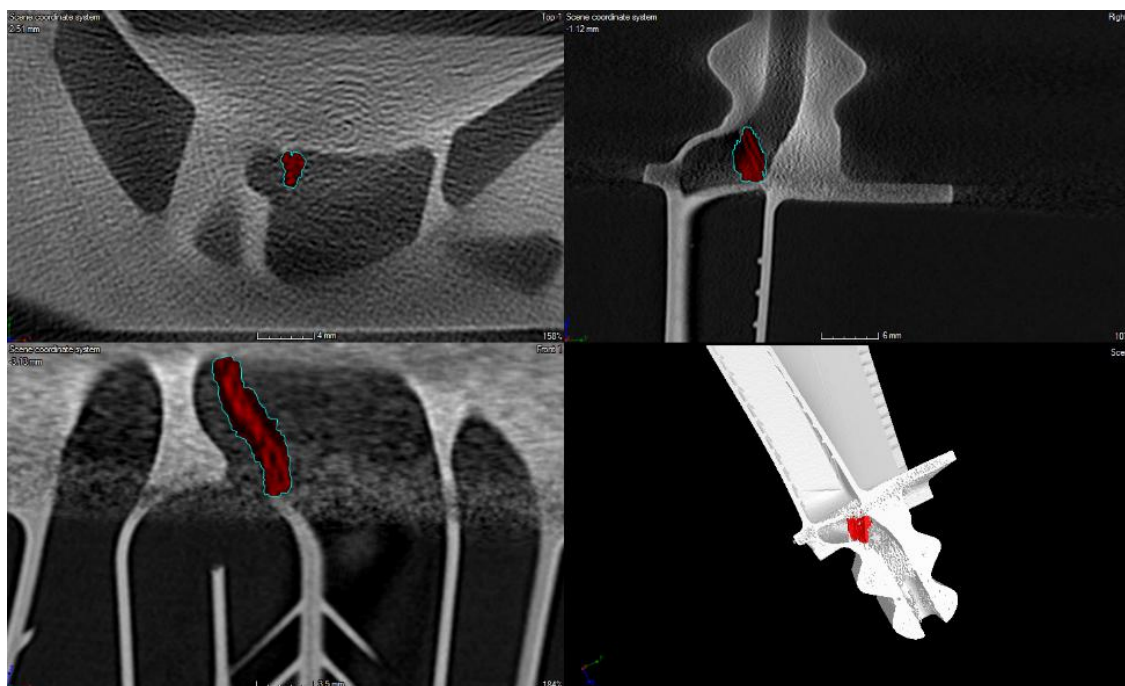


Рисунок 2 – Фото результата

1.2.2 Ультразвуковые приборы

1. Акустические (ультразвуковые) дефектоскопы

Импульсные дефектоскопы

В импульсных дефектоскопах используются эхо-метод, теневой и зеркально-теневой методы контроля.

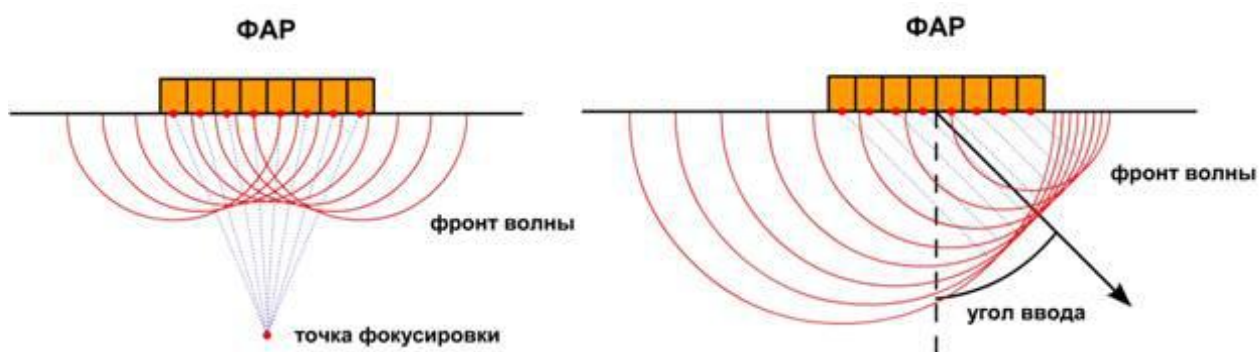


Рисунок 3 – Принцип работы датчиков ФАР

ФАР представляет собой группу пьезоэлементов на одной подложке. Каждый элемент многоэлементного датчика возбуждается независимым генератором. Время возбуждения контролируется программным обеспечением. Задержка формируется в соответствии с принципом Ферма, поэтому цилиндрический волновой фронт будет одновременно достигать определенной точки пространства - для фокусировки или указывать на входную поверхность под заданным углом - для углового сканирования. Следовательно, изменяя время задержки возбуждения элемента, звуковое поле может быть сфокусировано в любой точке пространства, и также можно регулировать наклон угла падения ультразвукового луча. В результате на экране детектора дефектов формируется двумерное изображение в виде сканирования секторов, полученного из нескольких сканирований А, полученных из данного диапазона углов. Вы также можете организовать комбинированный закон линейного сканирования и фокусировки (рис.3).

Неоспоримым преимуществом использования ФАР при контроле

сварных швов является многократное повышение производительности контроля вследствие замены растрового сканирования на линейное – вдоль шва (рис. 4).

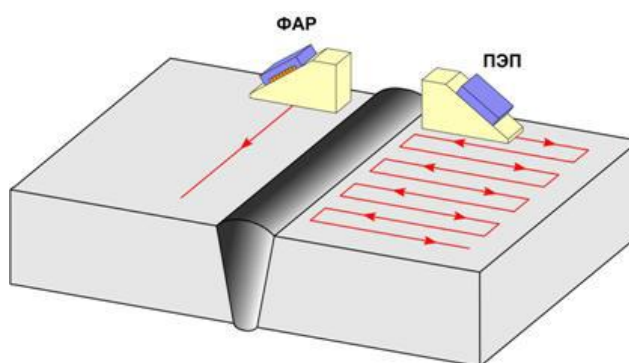


Рисунок 4 – Преимущества процесса сканирования с использованием технологии фазированных решеток

Эта возможность достигается за счет того, что, благодаря использованию электронного сканирования, ФАР производит одновременный контроль всего сечения шва без необходимости смещения датчика [4].

При контроле сварных соединений необходимо обеспечить целостность всего металла шва. Наклонный преобразователь звука используется для введения ультразвуковых волн через основной материал в шов. При поиске дефектов продольное и поперечное перемещение (сканирование) датчика выполняется вдоль шва, а его вращательное движение. Чувствительность ультразвукового теста зависит от обнаруженного дефекта или минимального размера эталонного отражателя (модель дефекта). В качестве эталонных отражателей часто используются сверла с плоским дном и боковые сверла или выемки, ориентированные перпендикулярно батиметрическому направлению.

Импедансные дефектоскопы

Принцип работы основан на определении разницы между общим механическим сопротивлением (импедансом) области дефекта и эталонной области. С этой целью два пьезоэлектрических элемента используются для сканирования контролируемой поверхности, одна из которых возбуждает вибрацию в материале и другая воспринимает вибрации. Импедансный

дефектоскоп предназначен для обнаружения дефектов в авиационной, аэрокосмической, автомобильной и других отраслях промышленности, расслоения, отсутствия клея, пор и разрушения целостности композиционных материалов и сотовых структур.

1.2.3 Оптическая топография

Данный метод можно описать с помощью использования 3D-сканера, который представляет собой специальное устройство, анализирующее определённый физический объект или же пространство, чтобы получить данные о форме предмета и, по возможности, о его внешнем виде (к примеру, о цвете). Собранные данные в дальнейшем применяются для создания цифровой трехмерной модели этого объекта.

Цель 3D-сканера в том, чтобы создать облако точек геометрических образцов на поверхности объекта. В дальнейшем эти точки могут быть экстраполированы для воссоздания формы предмета (процесс, называемый реконструкцией). Если были получены данные и о цвете, то и цвет реконструированной поверхности также можно определить.

3D-сканеры немного похожи на обычные камеры. В частности, у них есть конусообразное поле зрения, и они могут получать информацию только с тех поверхностей, которые не были затемнены. Различия между двумя этими устройствами в том, что камера передаёт только информацию о цвете поверхности, что попала в ее поле зрения, а вот 3D-сканер собирает информацию о расстояниях на поверхности, которая также пребывает в его поле зрения. Таким образом «картинка», полученная с помощью 3D-сканера, описывает расстояние до поверхности в каждой точке изображения. Это позволяет определить положение каждой точки на картинке сразу в трёх плоскостях.

В большинстве случаев одного сканирования недостаточно для создания полноценной модели предмета. Таких операций потребуется несколько. Как

правило, приличное множество сканирований с разных направлений понадобится для того, чтобы получить информацию обо всех сторонах объекта. Все результаты сканирования должны быть приведены к общей системе координат – процесс, называемый привязкой изображений или выравниванием, и только после этого создаётся полная модель. Вся эта процедура от простой карты с расстояниями до полноценной модели называется 3D конвейер сканирования.

Данная модель устройства представляет собой бесконтактный активный сканер от фирмы DAVID (Рисунок 5), который работает по технологии структурированного света.



Рисунок 5 – Внешний вид 3D-сканера

3D-сканеры, работающие по этой технологии, представляют собой проекцию световой сетки непосредственно на объект, деформация этого рисунка и представляет собой модель сканируемого предмета (Рисунок 6). Сетка проецируется на объект с помощью жидкокристаллического проектора или другого постоянного источника света. Камера, расположенная чуть в стороне от проектора, фиксирует форму сети и вычисляет расстояние до каждой точки в поле зрения. Последующая математическая обработка полученных изображений позволяет получить достоверное облако точек сканируемого объекта.



Рисунок 6 – Проекция световой сетки на объект

1.3 Преимущества и недостатки методов

1. Рентгеновские методы

Преимущества: Рентгеновская визуализация в реальном времени интуитивно понятна, фотографическая пленка может храниться в течение длительного времени, а чувствительность неразрушающего контроля тонкостенных заготовок высока. Чувствительный к объемным дефектам, планарное распределение изображения дефектов соответствует действительности, и измерение размеров является точным. Нет строгих требований к чистоте поверхности заготовки. Размер зерна материала мало влияет на результаты испытаний и может применяться для обнаружения внутренних дефектов различных материалов. Поэтому он широко используется при проверке качества литых изделий сложной геометрии.

Недостатки: Он не чувствителен к поверхностным дефектам, излучение вредно для организма человека, источник излучения дорог, а стоимость защиты выше. Рентгенографическая пленка имеет длительный период оценки и низкую чувствительность к толстостенным заготовкам.

2. Ультразвуковые методы

Преимущества: 1. Высокая чувствительность к внутренним поверхностным дефектам заготовки 2. Легкая проверка на месте 3. Можно получить результаты теста в реальном масштабе времени.

Недостатки: 1. Отображение дефектов не является интуитивно понятным, его трудно охарактеризовать и количественно определить 2.

Высокие требования к квалификации операторов 3. В основном подходит для обнаружения внутренних дефектов компонентов

3. Оптическая топография

визуально-оптический метод

Преимущества: он весьма доступен и прост; Недостатки: только эффективен на крупных объектах для выявления грубых изъянов

2 Структурные схемы

2.1 Обоснование структурной схемы установки системы

Структурная схема установки изображена на рисунке 7.

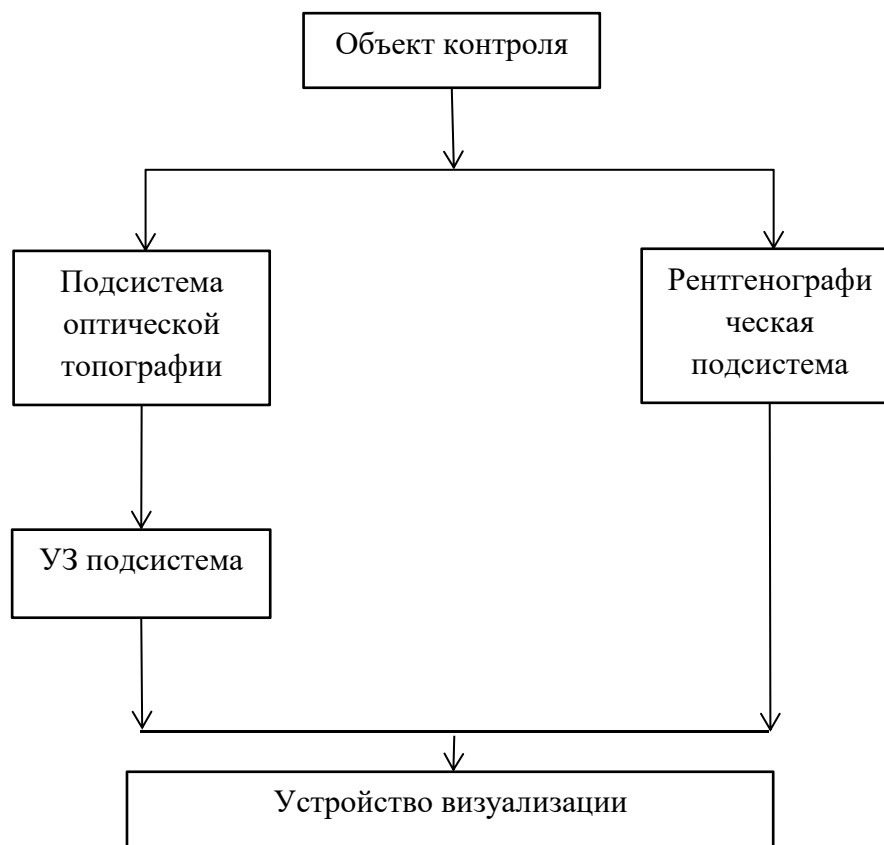


Рисунок 7 – Структурная схема

Эта система применяется для контроля металлических изделий. Например, у нас есть объект контроля. Нам нужно проконтролировать его с помощью двух методов контроля. С одной стороны, с помощью подсистемы оптической топографии строим 3D модель изделия, потом провести контроль с помощью ультразвука; с другой стороны, можно проконтролировать его с помощью рентгенографической подсистемы.

Сначала используем систему оптической топографии, чтобы получить топографию изделия. Затем проводим контроль с помощью подсистему ультразвуковой томографии. Потом сигнал поступает на устройство

визуализации.

Вместе или отдельно с ультразвуковым контролем можно использовать подсистему рентгеновской томографии. Информацию также передаем на устройство визуализации (компьютер).

Таким образом, можно анализировать результаты контроля с помощью двух методов.

2.2 Обоснование структурной схемы ультразвукового блока

Структурная схема ультразвукового блока изображена на рисунке 8.

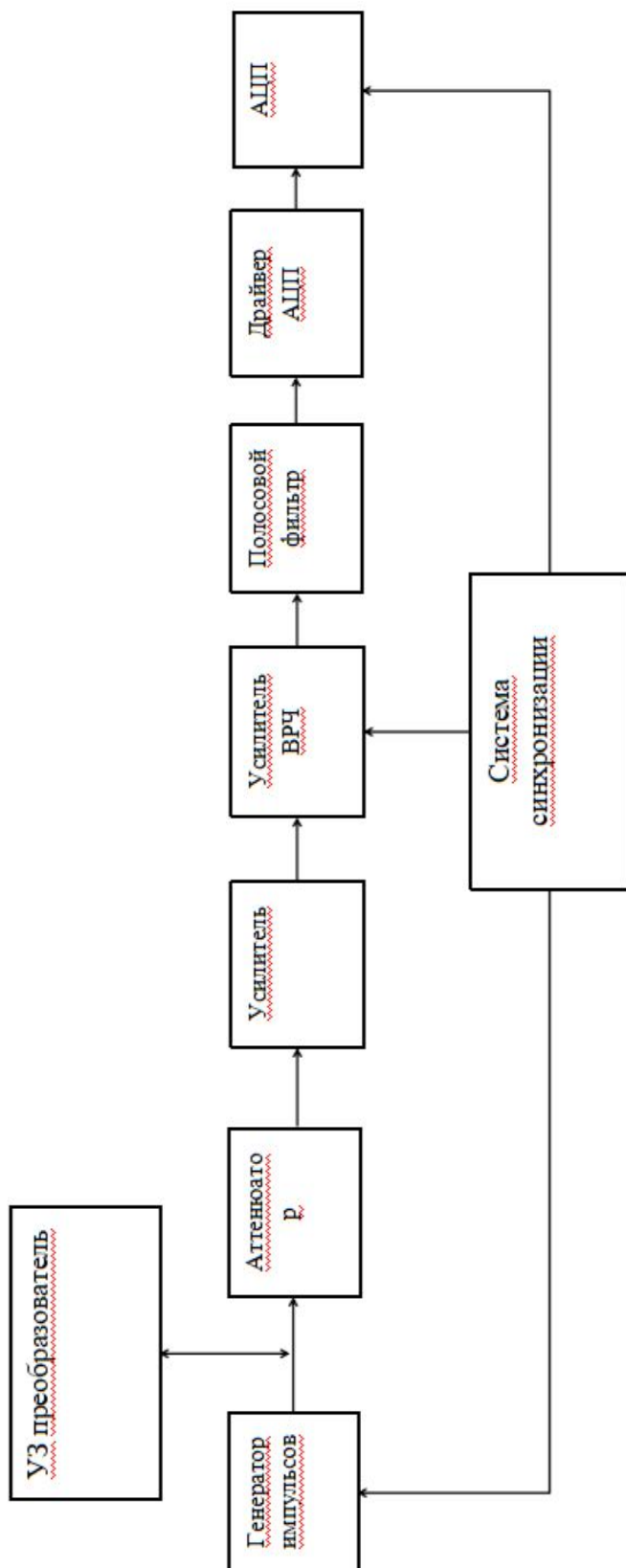


Рисунок 8 – Структурная схема ультразвукового блока

Типовая структурная схема аналоговой части одноканальной подсистемы ультразвукового контроля, состоит из блоков, реализующих функции ослабления, усиления УЗ сигнала, фильтрации и аналого-цифрового преобразования.

На схеме 8 не представлены интерфейсы, обеспечивают связь аналоговой и цифровой частей подсистемы УЗТ, выделен только блок синхронизации.

Генератор импульсов предназначен для генерации импульсов обнаружения и управляется системой синхронизации, которая обеспечивает точную синхронизацию сигналов обнаружения со шкалой сканирования А-сканирования. Используйте входные аттенюаторы и усилители для ослабления или усиления эхо-сигналов в зависимости от их амплитуды. Усилитель, используемый для регулировки чувствительности по времени, используется для компенсации затухания ультразвукового сигнала в нормальных условиях, а усиление программируется в соответствии с часами, установленными системой синхронизации. Обратите внимание, что высокочастотный усилитель должен иметь возможность регулировать усиление в широком диапазоне - общее значение составляет от 40 до 80 дБ. Полосовые фильтры обеспечивают передачу полезных сигналов и подавляют помехи за пределами рабочей полосы. Если подсистема ультразвуковых испытаний предназначена для использования с ультразвуковыми преобразователями с разными рабочими частотами, то для контроля верхних и нижних частот полосы пропускания фильтра требуется полосовой фильтр. Драйвер АЦП фактически является входным каскадом АЦП и сопоставляет выходное сопротивление предыдущей ступени с входным сопротивлением АЦП.

Современная технология микроэлектроники позволяет реализовать большинство модулей одноканальных подсистем (от усилителей до АЦП) в виде монолитных интегральных схем, причем не только одноканальные интегральные схемы, но и многоканальные версии.

2.3 Технические характеристики

Технические характеристики УЗ подсистемы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики УЗ подсистемы

Напряжение питания усилителя и усилителя ВРЧ, В	9
Напряжение источника питания генератора, В	15
Рабочая частота генератора, МГц	2.5
Длительность импульса, мкс	0.2

3 Расчет элементов принципиальной схемы

3.1 Генератор импульсов

Для организации генератора, выберем таймер КР1006ВИ1 (NE555).

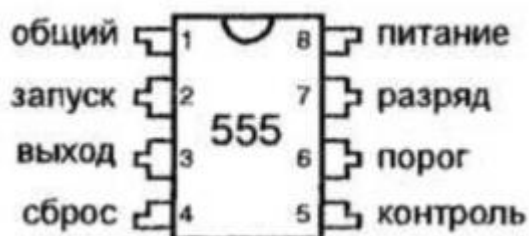


Рисунок 9 – Цоколевка микросхемы КР1006ВИ1

Таблица 2 – Основные электрические параметры таймера КР1006ВИ1

Напряжение источника питания	4.5-16 В
Погрешность временного интервала t_m	1%
Температурный дрейф $\Delta t_m / \Delta T$	0.005%/°C
Дрейф при изменении питания $\Delta t_m / \Delta V_s$	0.1%/В
Напряжение на входе сброса (при U_n = 15В)	1В

Продолжение таблицы 2

Выходное напряжение (при $I_{вых} = 100\text{мА}$) высокого уровня низком уровня	 13.3В 2.0В
Максимальная рабочая частота, не менее	500кГц
Длительность фронтов выходного напряжения	100нс
Ток утечки транзистора разряда	20нА
Максимальная выходной ток	200мА
Ток потребления (при $U_n = 15\text{В}$)	10мА
Максимальная рассеиваемая мощность	600мВт
Температура окр. Среды	от 0°C до 70°C

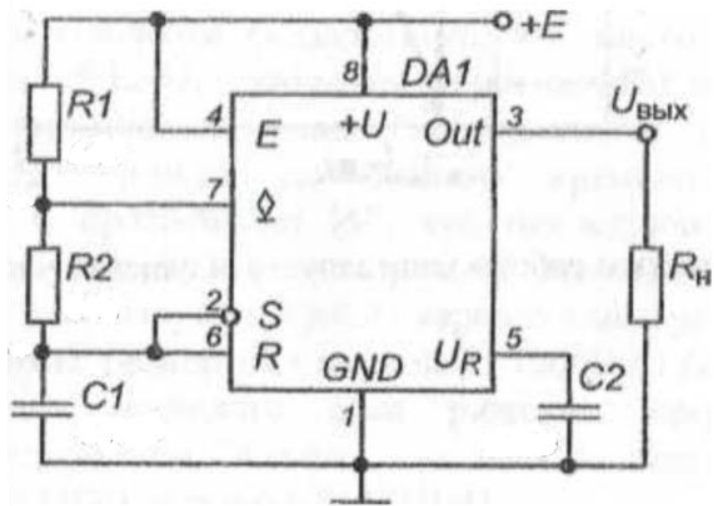


Рисунок 10 – Электрическая схема генератора импульсов

При подключении к таймеру дополнительных элементов R и C как показано на рисунке получим схему генератора импульсов.

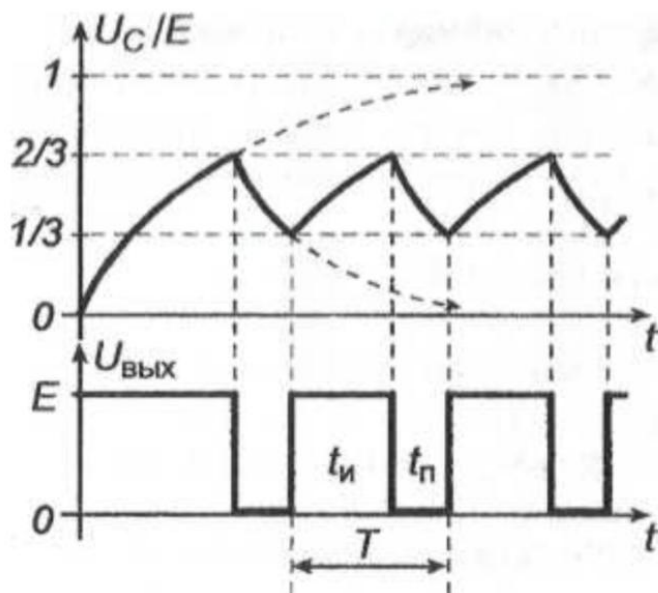


Рисунок 11 – Диаграммы работы

Время заряда конденсатора (на выходе таймера высокий уровень) из выражения:

$$U_{C1}(t) = E + \left(\frac{1}{3}E - E \right) e^{\frac{-t}{\tau_3}},$$

где постоянная времени цепи заряда $\tau = (R_1 + R_2)C_1$, поскольку заряд конденсатора идет через два последовательно соединенных резистора. Тогда, в момент t_{II} .

$$U_{C1}(t_{II}) = \frac{2}{3}E = E + \left(\frac{1}{3}E - E \right) e^{\frac{-t_{II}}{\tau_3}},$$

Отсюда, после преобразований, получим:

$$t_{II} = \tau_3 \ln 2 \cong 0.693(R_1 + R_2)C_1 = 0.2 \text{ мкс} = 0.2 \times 10^{-6} \text{ с}$$

$$(R_1 + R_2)C_1 = \frac{0.2 \times 10^{-6}}{0.693} \cong 0.289 \times 10^{-6} \text{ с} \quad (3.1)$$

После опрокидывания мультивибратора (на выходе - низкий уровень) открывается транзистор разряда таймера, напряжения на конденсаторе будет меняться по закону:

$$U_{C1}(t) = \frac{2}{3}E \cdot e^{\frac{-t}{\tau}},$$

Тогда, к моменту окончания паузы t_{II}

$$U_{C1}(t_{II}) = \frac{1}{3}E = \frac{2}{3}E \cdot e^{\frac{-t_{II}}{\tau_p}},$$

где τ_p - постоянная времени цепи разряда, поскольку разряд конденсатора идёт через резистор R_2 и транзистор разряда V_{T1} .

Отсюда

$$t_{II} = \tau_p \ln 2 \cong 0.693R_2C_1.$$

Период колебаний складывается из времени импульса и времени паузы:

$$T = t_{II} + t_{II} = 0.693(R_1 + 2R_2)C_1.$$

И, соответственно, частота - величина, обратная периоду:

$$f = \frac{1}{T} \cong \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C_1} = 2.5 \text{ МГц} = 2.5 \times 10^6 \text{ Гц}$$

$$(R_1 + 2R_2)C_1 = \frac{1.44}{2.5 \times 10^6} = 0.576 \times 10^{-6} \text{ с} \quad (3.2)$$

Скважность $q = T/t_{II}$ в этом случае всегда меньше 2.

По (3.1)(3.2), получим

$$R_2 C_1 = 0.287 \times 10^{-6} \text{ с}$$

$$R_1 C_1 = 0.002 \times 10^{-6} \text{ с}$$

Примем $R_2 = 2.7 \text{ кОм}$, тогда

$$C_1 = \frac{0.287 \times 10^{-6}}{R_2} = \frac{0.287 \times 10^{-6}}{2700} \cong 106 \text{ нФ}$$

Выберем из справочника [5] номиналы ёмкостей:

$C_1 = \text{К10-17-3Г-М47-110 нФ} \pm 10\%$.

$$\rightarrow R_1 \cong 18.2 \text{ Ом}$$

Примем $C_2 = 10 \text{ нФ}$, согласно рекомендуемым значениям.

Выберем из справочника [6] номиналы сопротивлений:

$R_1 = \text{С2-33Н-0.125-18 Ом} \pm 10\%$;

$R_2 = \text{С2-33Н-0.125-2.7 кОм} \pm 10\%$.

Выберем из справочника [5] номиналы ёмкостей:

$C_2 = \text{К10-17-3Г-М1500-10 нФ} \pm 10\%$.

3.2 Аттеноатор

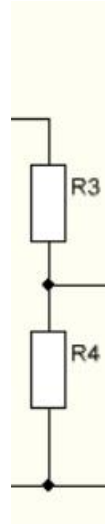


Рисунок 12 – Электрическая схема аттенюатора

На 3 выводе микросхемы КР1006ВИ1 при нормальном режиме работы величина напряжения +15В.

Узнаем коэффициент усиления $A_u \approx 136$ и напряжение на $U_{кэ}$ $U_{кэ} = 1.5В$ (по расчету усилителя). Примем $U_{кэнас} = 0.5В$.

$$U_{ВХ_{макс}} = U_{R4} = \frac{1.5 - 0.5}{136} \approx 0.007В$$

$$\frac{R3}{R4} = \frac{U_{R3}}{U_{R4}} = \frac{15 - 0.007}{0.007} \approx 2000$$

Поэтому примем $R3 = 200кОм$, $R4 = 100Ом$.

Выберем из справочника [6] резисторы:

$R3 = C2-33Н-0.125-200кОм \pm 10\%$;

$R4 = C2-33Н-0.125-100Ом \pm 10\%$.

3.3 Усилитель

Усилительный каскад на биполярном транзисторе, включенном по схеме с ОЭ, является одним из наиболее распространенных асимметричных усилителей.

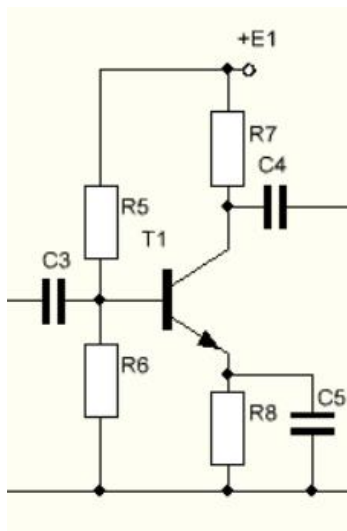


Рисунок 13 – Электрическая схема усилителя

В этой схеме резистор R7, включенный в основную цепь транзистора, используется для ограничения тока коллектора и обеспечения необходимого усиления. Используйте делитель напряжения R5R6, чтобы установить начальное напряжение смещения на основе транзистора VT1, которое необходимо для режима усиления класса А.

Цепь R8C5 выполняет функцию точки термостабилизации преобразователя, конденсаторы C3 и C4 разделяют постоянную и переменную составляющие тока. Поскольку емкость C5 очень велика, конденсатор C5 шунтирует резистор R8 для переменного тока.

Когда сигнал напряжения постоянной амплитуды подается на вход усилителя на разных частотах, выходное напряжение будет изменяться в соответствии с частотой сигнала из-за разного сопротивления конденсаторов C3 и C4 на разных частотах.

Выберем из справочника [7] транзистор:

VT1 = КТ315Б.

Таблица 3 – Основные электрические параметры транзистора КТ315Б

Параметры	Не менее	Не более
Обратный ток коллектора, мкА	-	0,5
Статический коэффициент передачи тока	50	350
Максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер, В	-	20
Граничная частота коэффициента передачи тока, МГц	-	250
Максимально допустимое напряжение коллектор-база, В	-	20
Максимально допустимый ток коллектора, мА	-	100
Максимально допустимая рассеиваемая мощность, мВт	-	150

Ток базы транзистора в состоянии покоя:

$$I_{B0} = \frac{I_K}{h_{21э}} = \frac{100}{200} = 0.5 \text{ мА}$$

Ток делителя, протекающий по резисторам R5, R6 (берем в 5 раз больше тока базы):

$$I_D = I_6 = 5I_{B0} = 5 \times 0.5 = 2.5 \text{ мА}$$

Напряжение на Uкэ:

$$U_{кэ} = \frac{P_K}{I_K} = \frac{150}{100} = 1.5 \text{ В}$$

Сопротивления резисторов R7, R8:

$$E_1 = U_{кэ} + U_7 + U_8 \cong U_{кэ} + I_K (R_7 + R_8)$$
$$R_7 + R_8 = \frac{E_1 - U_{кэ}}{I_K} = \frac{9 - 1.5}{100 \times 10^{-3}} = 75 \text{ Ом}$$

Выберем R8=0.1R7, тогда

$$1.1R_7 = 75 \text{ Ом}$$
$$R_7 = 68.2 \text{ Ом} \rightarrow$$
$$R_8 = 6.82 \text{ Ом}$$

Выберем из справочника [6] резисторы:

R7= C2-33H-0.125-68Ом±10%;

R8= C2-33H-0.125-6.8Ом±10%.

Падение напряжения на резисторе R6 делителя как сумма двух напряжений:

$$U_6 = U_8 + U_{бэ} = I_K R_8 + U_{бэ} = 100 \times 10^{-3} \times 6.8 + 0.6 = 1.28 \text{ В}$$

где Uбэ считаем равным 0,3 В для германиевых транзисторов и 0,6 В для кремниевых.

Падение напряжение на резисторе R5 как разность напряжений питания E1 и падения напряжения на резисторе R6:

$$U_5 = E_1 - U_6 = 9 - 1.28 = 7.72 \text{ В}$$

Сопротивление резистора R6 по закону Ома:

$$R_6 = \frac{U_6}{I_6} = \frac{1.28}{2.5 \times 10^{-3}} = 512 \text{ Ом}$$

При расчете сопротивления резистора R5 учитываем, что через него протекает сумма токов:

$$R_5 = \frac{U_5}{I_D + I_{Б0}} = \frac{7.72}{(2.5 + 0.5) \times 10^{-3}} = 2.57 \text{ кОм}$$

Выберем из справочника [6] резисторы:

$R5 = C2-33H-0.125-2.7k\Omega \pm 10\%$;

$R6 = C2-33H-0.125-510\Omega \pm 10\%$.

Емкость шунтирующего конденсатора $C5$ в эмиттерной цепи по приближенной формуле:

$$R_{C5} = R8 // \frac{h_{11э} + R5 // R6 // R4}{1 + \beta} \approx \frac{6.8 \times \frac{100 + 80}{200}}{6.8 + 0.9} \approx 0.8 \Omega$$

Из расчета фильтра узнаем

$$f_{\min} = 1.75 \text{ МГц}$$

$$f_{\min 1} \approx \frac{f_{\min}}{1.1\sqrt{7}} \approx \frac{f_{\min}}{2.91} = \frac{1.75}{2.91} \approx 0.60 \text{ МГц}$$

$$C_5 = \frac{1}{2\pi f_{\min 1} R_{C5}} = \frac{1}{2\pi \times 0.6 \times 10^6 \times 0.8} \approx 0.33 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 0.33 \text{ мкФ}$$

где $h_{11э}$ — входное сопротивление транзистора. (при $I_{б0} = 0.5 \text{ мА}$, $h_{11э} = 100 \Omega$)

Входное сопротивление усилителя $R_{вх}$ как эквивалентное сопротивление трех включенных параллельно сопротивлений $R5$, $R6$, $h_{11э}$:

$$\frac{1}{R_{BX}} = \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{h_{11э}} = \frac{1}{2.7} + \frac{1}{0.51} + \frac{1}{0.1} = 12.33 \frac{1}{k\Omega}$$

$$R_{BX} = \frac{1}{12.33} = 0.081 k\Omega = 81 \Omega$$

$$R_{C3} = R4 + R_{BX} = 100 + 81 = 181 \Omega$$

Емкость разделительного конденсатора на входе схемы:

$$C_3 = \frac{1}{2\pi f_{\min 1} R_{C3}} = \frac{1}{2\pi \times 0.6 \times 10^6 \times 181} \approx 1.47 \times 10^{-9} \text{ Ф} = 1.47 \text{ нФ}$$

Емкость разделительного конденсатора на выходе схемы принимаем:

$$C_4 = C_3 = 1.47 \text{ нФ}$$

Коэффициент усиления напряжения:

$$A_u \approx -\frac{\beta R_7}{h_{11э}} = -\frac{200 \times 68}{100} = -136$$

Выберем из справочника [5] конденсаторы:

C3= К10-17-3Г-М1500-1.5нФ±10%;

C4= К10-17-3Г-М1500-1.5нФ±10%;

C5= К73-17-160В-330нФ±5%.

3.4 Усилитель ВРЧ

Усилитель временной регулировки чувствительности применяется для компенсации ослабления УЗ сигнала в ОК, коэффициент усиления программируется по тактам, задаваемым системой синхронизации.

Усилитель ВРЧ является усилителем по схеме с ОК. Он только усиливает ток и не усиливает напряжение, а имеет следующие характеристики напряжения. Схема усилителя с общим коллектором имеет большое входное сопротивление и небольшое выходное сопротивление, поэтому ток, потребляемый источником сигнала, мал и нагрузочная способность велика. Обычно используется на входных и выходных каскадах схем многоступенчатых усилителей.

Напряжение питания E1 и R9, Rb вместе определяют соответствующий базовый ток покоя. R10, R11 могут влиять на величину выходного тока. Вместе с конденсаторами C6, C7, C8, C9 определяют нижний предел частоты цепи.

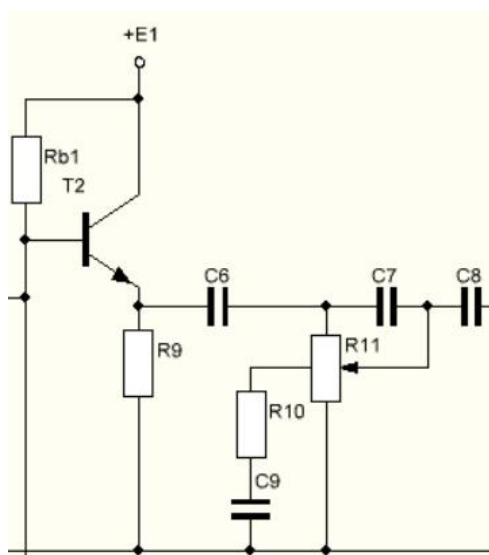


Рисунок 14 – Электрическая схема усилителя ВРЧ

Выберем из справочника [7] транзистор:

VT2 = КТ315Б.

Таблица 4 – Основные электрические параметры транзистора КТ315Б

Параметры	Не менее	Не более
Обратный ток коллектора, мкА	-	0,5
Статический коэффициент передачи тока	50	350
Максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер, В	-	20
Граничная частота коэффициента передачи тока, МГц	-	250
Максимально допустимое напряжение коллектор-база, В	-	20
Максимально допустимый ток коллектора, мА	-	100
Максимально допустимая рассеиваемая мощность, мВт	-	150

Ток базы транзистора в состоянии покоя:

$$I_{B1} = \frac{I_{K1}}{h_{21э}} = \frac{100}{200} = 0.5 \text{ мА}$$

Сопротивления резисторов Rb, R9:

$$E1 = I_{B1} R_b + I_{B1} (1 + \beta) R9 + U_{БЭ}$$

$$R_b + (1 + \beta) R9 = \frac{E1 - U_{БЭ}}{I_{B1}} = \frac{9 - 0.6}{0.5} = 16.8 \text{ кОм}$$

$$R_b + 200 R9 = 16.8 \text{ кОм}$$

Выберем Rb=20R9, тогда

$$20 R9 + 200 R9 = 16.8 \text{ кОм}$$

$$R9 = \frac{16.8}{220} \text{ кОм} \approx 76.4 \text{ Ом}$$

Выберем из справочника [6] резисторы:

R9= C2-33H-0.125-75Ом±10%.

$$R_b = 1500 \text{ Ом} = 1.5 \text{ кОм}$$

Сопротивления резисторов R10, R11:

Выберем R10//R11'=1кОм, примем R10=R11'=2кОм. R11 может контролировать величину тока на R10. Поэтому R11max>>R10.

Примем R11max=20кОм.

Выберем из справочника [6] резисторы:

Rb= C2-33H-0.125-1.5кОм±10%;

R10= C2-33H-0.125-2кОм±10%;

R11= C2-33H-0.125-20кОм±10%.

Емкость разделительного конденсатора на выходе схемы принимаем:

$$R_{C6} \approx R9 // \frac{h_{1э} + R_b // R7}{1 + \beta} + R10 // R11' \approx R10 // R11' = 1 \text{ кОм}$$

$$R_{C7} \approx R_{C6} // (R11_{\max} - R11') \approx R_{C6} = 1\kappa\text{Ом}$$

$$R_{C9} \approx R9 // \frac{h_{11э} + R_b // R7}{1 + \beta} // R11' + R10 \approx R10 = 2\kappa\text{Ом}$$

$$C6 = \frac{1}{2\pi f_{\min} R_{C6}} = \frac{1}{2\pi \times 0.6 \times 10^6 \times 1000} \approx 265 \times 10^{-12} \text{Ф} = 265 \text{нФ}$$

$$C7 = \frac{1}{2\pi f_{\min} R_{C7}} \approx 265 \text{нФ}$$

$$C9 = \frac{1}{2\pi f_{\min} R_{C9}} = \frac{C6}{2} \approx 132.5 \text{нФ}$$

Примем $C8 = \frac{C6}{10} = 26.5 \text{нФ}$ (Здесь выходной порт схемы усилителя считается без нагрузки)

Выберем из справочника [5] конденсаторы:

C6= К10-17-3Г-М47-270пФ±10%;

C7= К10-17-3Г-М47-270пФ±10%;

C8= К10-17-3Г-Н90-27пФ±10%;

C9= К10-17-3Г-М47-130пФ±10%.

3.5 Полосовой фильтр

Для организации полосового фильтра используем RC-цепь.

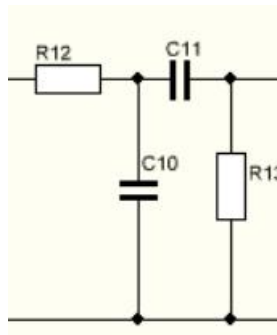


Рисунок 15 – Электрическая схема полосового фильтра

Рабочая частота является 2.5 МГц, требование полосы пропускания — 1.5МГц.

$$f_{\max} = \frac{1}{2\pi R_{12} C_{10}} = 2.5 + \frac{1.5}{2} = 3.25 \text{ МГц}$$
$$f_{\min} = \frac{1}{2\pi R_{13} C_{11}} = 2.5 - \frac{1.5}{2} = 1.75 \text{ МГц}$$

Примем $R_{12}=R_{13}=1\text{кОм}$, тогда

$$C_{10}=49\text{пФ} \quad C_{11}=90.9\text{пФ}$$

Выберем из справочника [6] номиналы сопротивлений:

$$R_{12}= \text{C2-33H-0.125-1кОм}\pm 10\%;$$

$$R_{13}= \text{C2-33H-0.125-1кОм}\pm 10\%.$$

Выберем из справочника [5] номиналы ёмкостей:

$$C_{10} = \text{K10-17-3Г-Н90-51пФ}\pm 10\%;$$

$$C_{11}= \text{K10-17-3Г-Н90-91пФ}\pm 10\%.$$

3.6 Драйвер АЦП

Большинство современных АЦП имеют высокий входной импеданс, низкую входную емкость и хорошие характеристики линейного преобразования, но во многих случаях невозможно напрямую подключить источник сигнала к входу АЦП. Операционный усилитель-драйвер АЦП решает эту проблему, дополнительно усиливая сигнал и фильтруя его при включении для подавления шумов в высокочастотной области. Для достижения высокой точности устройства параметры драйвера должны быть значительно лучше, чем параметры АЦП.

Δ - Σ (АЦП) имеет высокое разрешение и широкую полосу пропускания.

Выберем усилитель — транслятор уровня INA159 для драйвера АЦП.

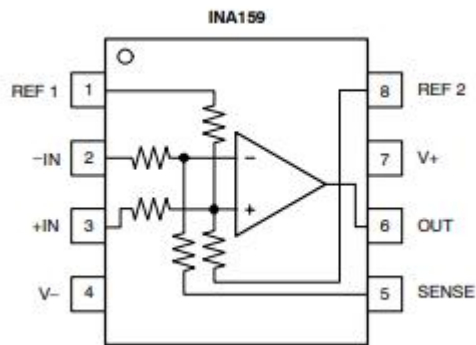


Рисунок 16 – Цоколевка микросхемы INA159

Таблица 5 – Основные электрические параметры микросхемы INA159

Коэффициент передачи при входном сигнале $\pm 10\text{В}$	0.2(возможны другие значения)
Точность коэффициента передачи	$\pm 0.024\%$ (макс.)
Полоса пропускания	1.5МГц
Скорость нарастания напряжения	15В/мкс
Напряжение смещения	$\pm 100\text{мкВ}$
Дрейф напряжения смещения	$\pm 1.5\text{мкВ}/^\circ\text{C}$
Напряжения питания	1.8~5.5В

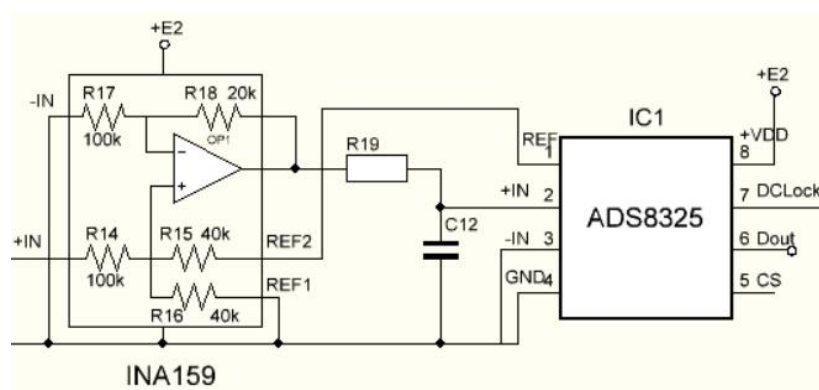


Рисунок 17 – Типовая схема применения

Примем $R_{19}=100\text{Ом}$, $C_{12}=1000\text{пФ}$, $U_{\text{пит.}}=5\text{В}$

Выберем из справочника [6] номинал сопротивления:

$R_{19}=C2-33H-0.125-100\text{Ом}\pm 10\%$.

Выберем из справочника [5] номинал ёмкости:

$C_{12}=K10-17-3Г-M47-1000\text{пФ}\pm 10\%$.

3.7 АЦП

Аналого-цифровой преобразователь, или сокращенно АЦП, обычно относится к электронному компоненту, который преобразует аналоговый сигнал в цифровой сигнал. Обычный аналого-цифровой преобразователь преобразует сигнал входного напряжения в выходной цифровой сигнал. Поскольку сам цифровой сигнал не имеет практического значения, он представляет только относительный размер. Поэтому для любого аналого-цифрового преобразователя в качестве стандарта преобразования требуется эталонная аналоговая величина, а наиболее распространенным эталонным стандартом является максимальный размер конвертируемого сигнала. Цифровая выходная величина указывает размер входного сигнала относительно опорного сигнала.

Для удобства выберем микросхему ADS8325 для АЦП.

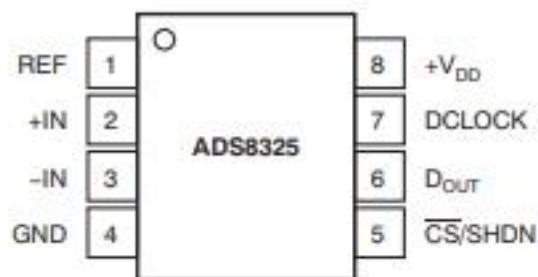


Рисунок 18 – Цоколевка микросхемы ADS8325

Основные электрические параметры:

- 16- бит код без пропусков
- Малый уровень шума 3 LSB р-р
- Высокая линейность ± 1 LSB тип.
- Мощность потребления:
4.5 мВт при 100 кГц
1 мВт при 10 кГц
- MSOP-8 корпус
- Совместим по выводам с 12- битным ADS7816 и ADS7822
- Последовательный интерфейс

3.8 Система синхронизации

Мы используем генератор синхронизирующих импульсов ICM7209 для синхронизации системы.

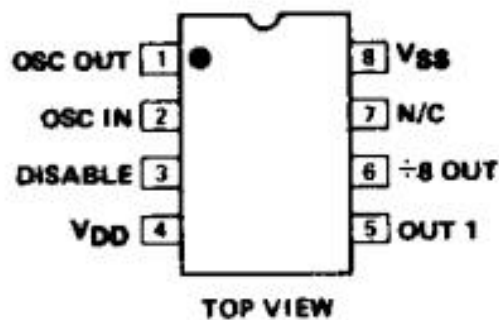


Рисунок 19 – Цоколевка микросхемы ICM7209

Основные электрические параметры:

1. Максимальная частота операции: 10МГц;
2. Только нужны одии кристаллкварц и два конденсаторы;
Биполярный, структура КМОП;
3. Высокий выход — $5 \times$ ТТЛ, $t_{\text{фронт}} = t_{\text{спад}} = 10\text{нс}$;
4. Низкая мощность — 50мВт при 10МГц;
5. Две выходной частоты: f_{Osc} .и $f_{\text{Osc}} \div 8$

6. Температура окр. Среды от -20% до $+85\%$.

Электрические характеристики:

($V_{DD} - V_{SS} = 5V$, test circuit, $f_{osc} = 10MHz$, $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
I_{DD}	Supply Current	Note 1 No Load		11	20	mA
C_D	Disable Input Capacitance			5		pF
I_{ILK}	Disable Input Leakage	Either '1' or '0' state			± 10	μA
V_{OL}	Output Low State	Either OUT 1 or OUT $\div 8$ simulated $5 \times$ TTL loads			0.4	V
V_{OH}	Output High State	Either OUT 1 or OUT $\div 8$ simulated $5 \times$ TTL loads	4.0	4.9		
t_R	Output Rise Time (Note 3)	Either OUT 1 or OUT $\div 8$ simulated $5 \times$ TTL loads		10		ns
t_F	Output Fall Time (Note 3)	Either OUT 1 or OUT $\div 8$ simulated $5 \times$ TTL loads		10		
f_{osc}	Minimum OSC Frequency for $\div 8$ Output	Note 2	2			MHz
	Output $\div 8$ duty cycle	Any operating frequency Low state : High state		7:9		
GM	Oscillator Transconductance		80	200		μS

NOTES: 1. The power dissipation is a function of the oscillator frequency (1st ORDER EFFECT see curve) but is also effected to a small extent by the oscillator tank components.

2. The $\div 8$ circuitry uses a dynamic scheme. As with any dynamic system, information or data is stored on very small nodal capacitances instead of latches (static systems) and there is a lower cutoff frequency of operation. Dynamic dividers are used in the ICM7209 to significantly improve high frequency performance and to decrease power consumption.

3 Rise and fall times are defined between the output levels of 0.5 and 2.4 volts.

Из таблицы узнаем напряжение питания равно 5 В, f_{osc} мин. = 2МГц, то есть можно пусть $f = 2.5$ МГц.

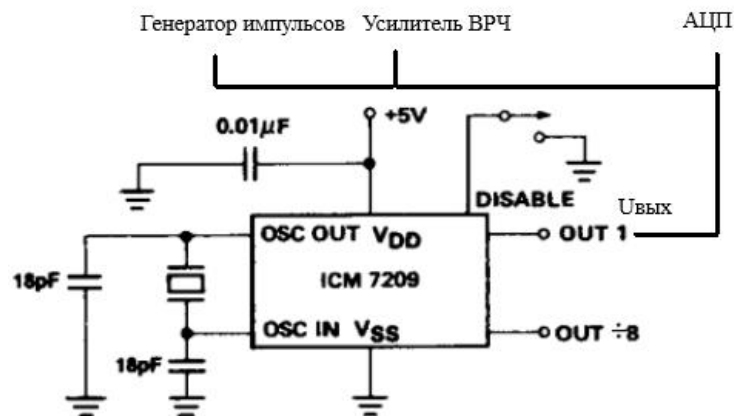


Рисунок 20 – Тестовая цепь микросхемы ICM7209

Поэтому примем $C_{13} = 0.01 \mu F$, $C_{14} = C_{15} = 18 \text{ пФ}$.

Выберем из справочника [5] номиналы ёмкостей:

$C_{13} = \text{K10-17-3Г-M1500-10нФ} \pm 10\%$;

$C_{14} = \text{K10-17-3Г-H90-18пФ} \pm 10\%$;

$C_{15} = \text{K10-17-3Г-H90-18пФ} \pm 10\%$.

4 Алгоритм работы системы

4.1 Введение

В качестве исследуемого объекта в рамках данной работы рассматриваются ответственные пространственно-сложные фасонные детали. В частности, это запорно-регулирующие компоненты трубопроводов со сложной геометрической формой. Производство данных изделий в первую очередь связано с использованием такого металлообрабатывающего оборудования, как фрезеровальные станки. Объект исследования изготавливается из стали при помощи литья, в дальнейшем сложная геометрия обеспечивается при помощи фрезеровки.

Технологически процесс фрезерования претерпел большие изменения. Довольно распространенным является применение ЧПУ данными станками. Они реализуются таким образом, что инструкции в соответствие с желаемыми характеристиками конечного изделия создаются при помощи программного обеспечения и представляются в виде цифрового файла. В дальнейшем этот файл используется для определения параметров металлообработки. На этом этапе важным является точное определение характеристик конечного изделия, влияющее на надежность технологического процесса [8].

4.2 Концепция внедрения современных измерительных систем и информационных технологий в производстве пространственно-сложных фасонных деталей

Таковыми блоками (подсистемами) являются:

- подсистема цифровой рентгенографии (РТ);
- подсистема ультразвуковой томографии (ПУЗТ);
- подсистема оптической топографии (ОТ);
- подсистема цифровой механообработки;
- автоматизированное рабочее место (АРМ).

Существующая производственная схема на данный момент выглядит так, как изображено на рисунке 21:

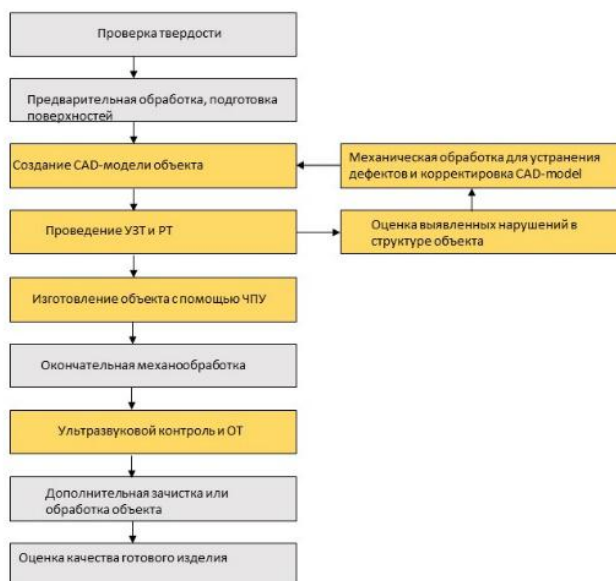


Рисунок 21 – Усовершенствованная схема производственного цикла

Каждый отдельный блок этой схемы требует непосредственного вмешательства персонала, что значительно увеличивает трудозатраты, а, следовательно, и стоимость, а также количество потенциальных ошибок. Первым шагом к автоматизации существующего процесса станет создание автоматизированного рабочего места для управления сразу всеми процессами.

Подсистемы УЗТ и РТ предназначены для проведения анализа образца на наличие скрытых дефектов во внутренней структуре изделий. А подсистема УЗТ производит оценку качества конечного изделия. Применение двух этих подсистем позволяет с очень высокой точностью оценить размеры и положение дефектов в материале. В свою очередь эта информация позволит скорректировать программы ЧПУ таким образом, чтобы геометрия механообработки избегала дефектов. Более подробное описание принципа работы разрабатываемых подсистем в рамках проекта приведено в [9].

4.3. Автоматизированная подсистема ультразвуковой томографии

В состав автоматизированной системы управления (АСУ) подсистемы ультразвуковой томографии входят:

- Установка УЗ контроля вместе с манипулятором.
- Электропривод позиционирования.
- Контроллерное оборудование сбора, передачи и управления.
- Система управления подачей контактной среды.
- АРМ оператора.

На рисунке 20 представлена структурная схема ПУЗТ.

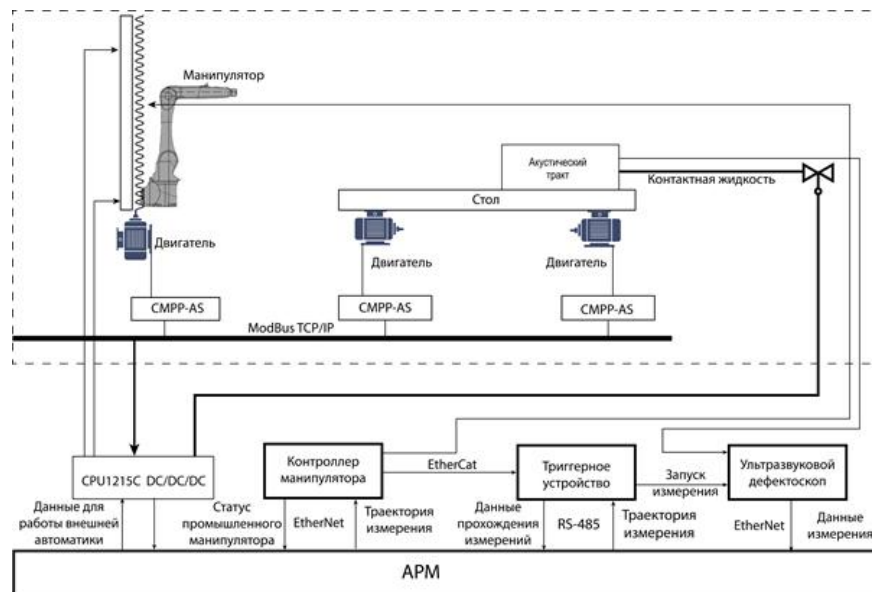


Рисунок 22 – Структурная схема ПУЗТ

Взаимодействующими модулями ПУЗТ являются: поворотный стол с устройством центрирования объекта контроля; промышленный манипулятор с закрепленными УЗ преобразователем и системой акустического контакта; модуль перемещения промышленного манипулятора; система подачи контактной среды.

Структурная схема взаимодействия отдельных частей показана на рисунке 23.

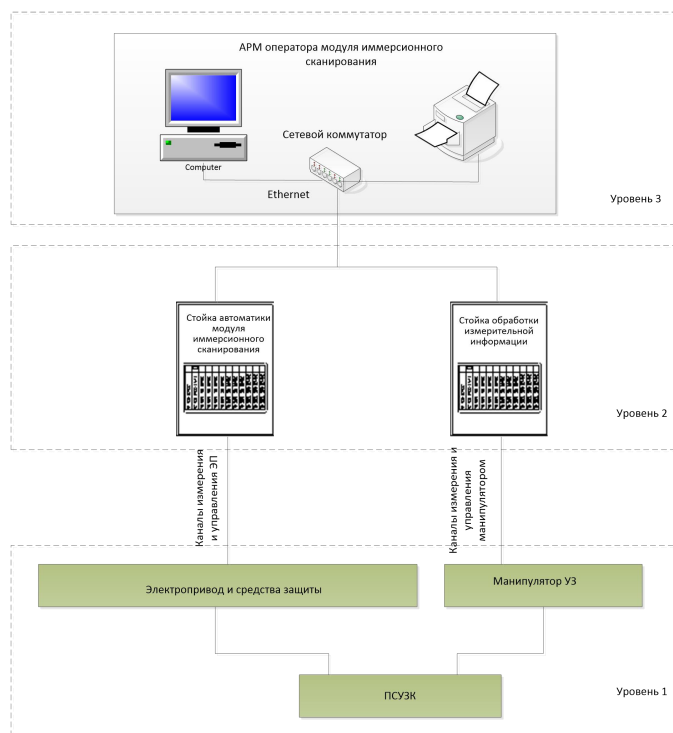


Рисунок 23 – Трехуровневая схема АСУ ПУЗТ

Контроль за работой и управление технологическим оборудованием и процессом дефектоскопии изделия осуществляется на трех уровнях:

1) Локальная автоматика (привод позиционирования стола, привод позиционирования промышленного манипулятора) обеспечивает заданные повороты стола с закрепленным на нем изделием и вертикальным перемещением промышленного манипулятора с закрепленным на манипуляторе УЗ преобразователем и системой акустического контакта. Автоматизированное управление поворотом изделия и роботизированного манипулятора позволяет обеспечить заданные программой контроля изделия перемещения.

2) Контроллерные средства сбора и управления объединяют сервоприводы ЭП с ПЛК, а также контроллер управления промышленного роботизированного манипулятора с промышленным роботизированным манипулятором. Они используются для обмена информацией в ПУЗТ посредством:

- сети Industrial Ethernet (протокол обмена TCP/IP), формирующей канала передачи данных между контроллерами и АРМ;

- каналов управления манипулятором;

- каналов управления приводами.

3) АРМ управления и рабочее место оператора модуля иммерсионного сканирования ОК взаимодействуют между собой посредством сети Ethernet.

Взаимосвязь этих уровней управления обеспечивает:

- достижение высокой живучести АСУ в процессе эксплуатации;

- упрощение выполнения процедур диагностики, эксплуатационного обслуживания отдельных, наиболее важных узлов в горячем режиме работы;

- возможность развития АСУ в отдельности за счет модульной замены на каждом уровне программно-аппаратных средств;

- совместимость и интеграцию отдельных каналов измерения на уровне программируемого логического контроллера в АСУ.

Режим функционирования АСУ определяется задаваемой программой контроля изделий. Функциональная схема АСУ ПУЗТ показана на рисунке 24.



Рисунок 24 – Функциональная схема АСУ ПУЗТ

Контроллер внешней автоматики системы управления автоматизированного сканирования изделия управляет электроприводами ПУЗТ с использованием данных для работы внешней автоматики. Выбранными

электроприводами управления перемещениями подвижных частей установки ПУЗТ осуществляется перемещение манипулятора и выполняется его позиционирование с заданной в ТЗ точностью. Траектория измерения обеспечивается перемещением манипулятора, который управляется контроллером манипулятора. Электроприводы поворотного стола осуществляют круговое перемещение изделия.

По каналам передачи сигналов энкодеров выполняется автоматический контроль этих перемещений. На АРМ оператора поступает информация о позиционных перемещениях и их соответствие заданию рабочей программы контроля изделия. Стойки управления и измерения синхронизируются специальным Ethernet-каналом связи. На АРМ выполняется обработка результатов сканирования по порогам дефектности и формируется протокол результатов дефектоскопии. Результаты сканирования также предоставляются в реальном времени в виде трехмерной реконструкции внутренней структуры изделия, что позволяет оператору проводить полноценную оценку качества изделия. Реконструкция и дальнейшая визуализация осуществляется на основе сканирования по методу синтезированной цифровой фокусировки антенной решетки (DFA), которой был разработан на базе НИ ТПУ совместно с институтом Фраунгофера [10]. На рисунке 25 приведен внешний вид установки, а также пример получаемых результатов контроля.

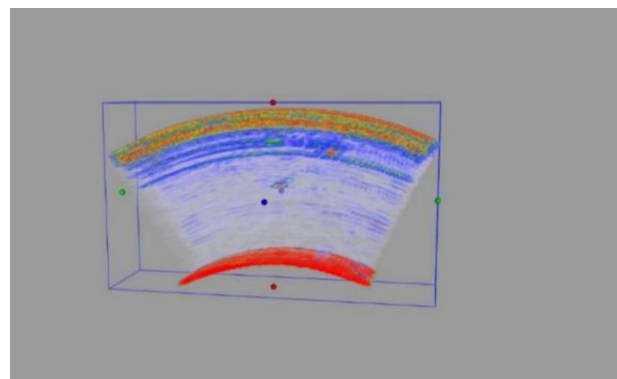
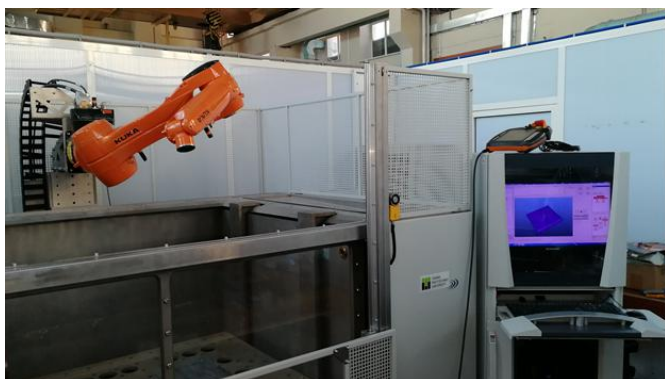


Рисунок 25 – Пример результатов ультразвуковой томографии при использовании роботизированного манипулятора

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Тема моей выпускной квалификационной работы: Система неразрушающего контроля металлических изделий сложной геометрии. Исследования, проводимые в данной работе, являются актуальными для промышленной отрасли. Следовательно, потенциальными потребителями будут являться предприятия, связанные с производством и обработкой металлических изделий, расположенные в любой области Российской Федерации.

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

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

Учитывая, что система будет применяться для неразрушающего контроля металлических изделий, то целевым рынком будут являться государственные и частные предприятия по производству металлопродукции.

Цель экономической части диплома заключается в анализе выполненного устройства с экономической точки зрения.

В данном разделе производится учет всех технико-экономических факторов на каждой стадии проектирования, проводится анализ технических решений, оценивается эффективность разработки, анализируются возможные способы исполнения продукта, а также рассчитывается эффективность

производства по одному или другому способу и рассчитывается трудоемкость выполняемой работы.

5.1.2 SWOT-анализ

SWOT– Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Сущность SWOT-анализа заключается в анализе внутренних и внешних факторов компании, оценке рисков и конкурентоспособности товара в отрасли.

SWOT-анализ проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Для этого необходимо определить сильные и слабые стороны проекта.

1. Сильные стороны. Сильные стороны – это внутренние характеристики предприятия, которые обеспечивают конкурентное преимущество на рынке или более выгодное положение в сравнении с конкурентами;

2. Слабые стороны. Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей;

3. Возможности. Возможности – это рычаги, которые находятся в руках бизнеса и поддаются прямому воздействию. Например, повышение квалификации сотрудников и прочее;

4. Угрозы. Угрозы – это трудности, внешние факторы, которые не зависят от принимаемых вами решений.

Таблица 6 – Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	<p>С1. Новые схемотехнические решения</p> <p>С2. Широкие возможности по расширению использования системы</p> <p>С3. Возможность обучить систему под новую среду</p> <p>С4. Точность системы выше аналогичных</p>	<p>Сл1. Медленный процесс вывода на рынок новой технологии</p> <p>Сл2. Ограниченные финансовые возможности</p> <p>Сл3. Сложность в обслуживании аппарата (монтаж и ремонт)</p>
Возможности:	<p>Пересечение полей сильных сторон и возможностей позволяют заключить, что будет необходимо обеспечить поддержку системы после введения в эксплуатацию и адаптацию системы к каждому предприятию.</p>	<p>Дополнительный спрос на систему может повлечь за собой необходимость дополнительных экспериментов для адаптации системы.</p>
Угрозы:	<p>Продвижение разрабатываемой технологии с акцентированием на достоинствах</p>	<p>Расширение каналов движения готового продукта (универсальность технологии);</p> <p>Снижение стоимости прибора за счет увеличения числа выпускаемых единиц;</p> <p>-Испытание в работе/доказательство наибольшей эффективности прибора, чем у конкурентов.</p>
<p>В1. Большой потенциал развития нового метода неразрушающий контроль в России</p> <p>В2. Возможность выхода на внешний рынок</p> <p>В3. В случае принятия рынком выход на большие объемы производства прибора</p>		
<p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Противодействие со стороны конкурентов: снижение цен, разработка новой конструкции.</p> <p>У3. Захват внутреннего рынка иностранными компаниями.</p> <p>У4. Повышение цен на комплектующие прибора</p>		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Составляется интерактивная матрица, с помощью которой можно оценить варианты стратегического выбора.

- (+) - Сильное соответствие сильных сторон возможностям;
- (-) - Слабое соответствие сильных сторон возможностям;
- (0) - Сомнения в выборе;

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности Проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	0	-
	B2	+	-	+	+
	B3	+	-	+	+

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта

Возможности Проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	0
	B2	0	-	-
	B3	+	-	+

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы Проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	+	-	-	-
	У2	+	+	-	+
	У3	0	-	-	0
	У4	-	-	+	+

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта

Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	
	У2	-	+	
	У3	-	+	
	У4	+	-	

Таким образом, согласно SWOT-анализу можно наглядно увидеть, какие сильные и слабые стороны имеет научно-исследовательская работа, а также ее возможности и угрозы. Исходя из полученных данных, можно разработать варианты улучшения разработки, тем самым сделав ее более привлекательной на рынке.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 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.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования (табл. 11)

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ Раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
	2	Выдача задания на тему	Научный руководитель
Выбор направления исследований	3	Постановка задачи	Научный руководитель
	4	Определение стадий, этапов и сроков разработки	Научный руководитель
	5	Подбор литературы	Студент
	6	Сбор материалов и анализ существующих разработок	Студент
Теоретические исследования	7	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
	8	Анализ конкурентных технологий	Студент
	9	Выбор наиболее подходящей и перспективной технологии	Студент

	10	Согласование полученных данных с руководителем	Студент, научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент
	12	Работа над выводом	Студент
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки	Студент

5.2.2 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, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости тоже используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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.

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

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.

Согласно производственному и налоговому календарю на 2018 год, количество календарных 365 дней, количество рабочих дней составляет 247 дней, количество выходных 118 дней, а количество праздничных дней – 14, таким образом: $k_{\text{кал}}=1,57$.

Все рассчитанные значения вносим в таблицу (табл. 12).

После заполнения таблицы 8 строим календарный план-график (табл.13). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам

(10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 12 – Временные показатели проведения научного исследования











Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2				
Составление и утверждение технического задания	2	-	5	-	3,2	-	3,2	-	5	-
Выдача задания на тему	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2,2	-
Постановка задачи	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2,2	-
Определение стадий, этапов и сроков разработки	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-	5,96	-
Подбор литературы	-	7	-	10	-	8,2	-	8,2	-	12,87
Сбор материалов и анализ существующих разработок	-	14	-	17	-	15,2	-	15,2	-	23,86
Проведение теоретических расчетов и обоснований	-	9	-	12	-	10,2	-	10,2	-	16
Анализ конкурентных технологий	-	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	9,1
Выбор наиболее подходящей и перспективной технологии	-	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4,4
Согласование полученных данных с руководителем	2	2	5	5	3,2	3,2	1,6	1,6	2,51	2,51
Оценка эффективности полученных результатов	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	3,77
Работа над выводом	-	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2,2
Составление пояснительной записки	-	4	-	6	-	4,8	-	4,8	-	7,54

Исп. 1 – Руководитель; Исп. 2 – Студент.

Подведение итогов:

	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календар-ных днях T_{ki}
Руководитель	11,4	17,87
Студент	52,4	82,25

Таблица 13 – Календарный план-график проведения НИОКР

№ Ра-бот	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				Март			Апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	5											
2	Выдача задания на тему	Студент	2,2											
3	Постановка задачи	Студент	2,2											
4	Определение стадий, этапов и сроков разработки	Руководитель	5,96											
5	Подбор литературы	Студент	12,87											
6	Сбор материалов и анализ существующих разработок	Студент	23,86											
7	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент	16											
8	Анализ конкурентных технологий	Студент	9,1											
9	Выбор наиболее подходящей и перспективной технологии	Студент	4,4											
10	Согласование полученных данных с руководителем	Руководитель, Студент	2,51											

11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	3,77										
12	Работа над выводом	Студент	2,2										
13	Составление пояснительной записки	Студент	7,54										

■—студент; ▨—руководитель

5.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

5.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле (5):

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

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 (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. Общие материальные затраты НТИ представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Сложные металлические детали	1 штука	3	1300	3900
Итого				3900

5.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в таблице 15. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

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

№	Наименование оборудования	Количество	Цена за ед., руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Поворотный стол	2	4500000	9000000
2	Промышленный манипулятор	2	2500000	5000000
3	Устройство доставки манипулятора	1	1100000	1100000
4	Резервуар (иммерсионная ванна)	1	1600000	1600000
5	Блок ультразвуковой электроники	1	30000000	30000000
6	Система водоподготовки и фильтрации	1	260000	260000
Итого				46960000

5.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату (формула 6):

$$Ззп = Зосн + Здоп, \quad (6)$$

где Зосн – основная заработная плата;

Здоп – дополнительная заработная плата (12-20 % от Зосн).

Основная заработная плата (Зосн) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по формуле (7):

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

где Зосн – основная заработная плата одного работника; Тр – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 8); Здн – среднедневная заработная плата работника, руб. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (8):

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (8)$$

где Зм – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня М = 11,2 месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней М = 10,4 месяца, 6-дневная неделя;

Fд – действительный годовой фонд рабочего времени научнотехнического персонала, раб. дн. (таблице 16).

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365

Количество нерабочих дней		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	1	1
Действительный годовой фонд рабочего времени	250	274

Месячный должностной оклад работника рассчитывается исходя из формулы (9):

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (9)$$

где $З_{тс}$ —заработная плата по тарифной ставке (руб.);

$k_{пр}$ —премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_d —коэффициент доплат и надбавок (0,2-0,5);

k_p — районный коэффициент 1,3 (для г. Томска).

Полная основная заработная плата представлена в таблице 17.

Таблица 17 – Расчёт основной заработной платы

Исполнитель	$З_{тс}$, руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$, руб.	$З_{дн}$, руб.	T_p	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	33664	0,3	0,4	1,3	74397	3065,16	6	18390,96
Инженер	26300	0,3	0,4	1,3	58123	2397	115	275655
Итого Зосн								294045,96

5.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле (10):

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

где $k_{доп} = 0,12$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 18.

Таблица 18 – Дополнительная заработная плата

	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата, руб	18390,96	275655
Дополнительная з/п, руб	2206,92	33078,6
Итого доп. з/п, руб	35285,52	

5.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы (11):

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

где $k_{внеб} = 0,302$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды

В таблице 19 представлены отчисления во внебюджетные фонды.

Таблица 19 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	18390,96	2206,92

Инженер	275655	33078,6
Итого $Z_{\text{внэб}} = 5582,03 + 83666,81 = 89251,84$ руб.		

5.2.4.6 Контрагентные расходы

На протяжении всего периода работы ($K = 140$ дней) необходимы услуги ISP МТС (ОАО «Мобильные ТелеСистемы») по тарифу SMART с абонентской платой в $N=8$ р./сутки. Соответственно сумма расходов A рассчитывается по формуле (12):

$$A = N \cdot K = 140 \cdot 8 = 1120 \text{ руб.} \quad (12)$$

5.2.4.7 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по формуле (13):

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{пр}}, \quad (13)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (772 + 105 + 5204 + 3758 + 14856) \cdot 0,16 = 3951,2 \text{ руб.}$$

5.2.4.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определим бюджет затрат на научно-исследовательский проект путем суммирования предыдущих статей, и получим общую себестоимость, которую занесем в таблицу 20.

Таблица 20 - Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	3900	Пункт 5.2.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	46960000	Пункт 5.2.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	294045,96	Пункт 5.2.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	35285,52	Пункт 5.2.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	89251,84	Пункт 5.2.4.5
6. Контрагентные расходы	1120	Пункт 5.2.4.6
7. Накладные расходы	3951,2	Пункт 5.2.4.7
8. Бюджет затрат НИИ	47387554,52	Сумма ст. 1- 7

5.3 Вывод по разделу

В ходе проделанной работы все поставленные цели и задачи были реализованы.

В итоге проведения SWOT-анализа нами были выявлены все сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы. Все рассмотренные факторы коррелируют таким образом, что сильные стороны и возможности проекта преобладают.

Было произведено определение потенциалов потребителя результатов исследования и определение возможных альтернатив проведения научных исследований.

Было произведено планирование комплекса предполагаемых работ осуществляемых в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований;
- расчет бюджета научно-технического исследования (НТИ)

Таким образом, все цели работы достигнуты. В данном разделе было доказано, что проектируемый нами ультразвуковой прибор, представленный в работе, обладает высокой конкурентоспособностью.

Заключение

В результате исследования была разработана структурная схема системы неразрушающего контроля и принципиальная схема УЗ подсистемы. Также бы проведен анализ и расчет элементов принципиальной схемы УЗ подсистемы и описан алгоритм работы системы неразрушающего контроля пространственно-сложных изделий.

Результаты исследования могут быть использованы при проведении неразрушающего контроля (НК) металлов и металлоизделий, позволяющего проверять качество продукции без нарушения ее целостности.