

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**
 Отделение **электронной инженерии**

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование эхо-сигнала

УДК 620.179.162.082.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM92	Макаров Денис Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Солдатов Андрей Алексеевич	К. Т. Н.		

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
Профессор ООД	Федорчук Ю. М.	Д. Т. Н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Наталинова Н. М.	К. Т. Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	Солдатов А. И.	Д.Т.Н.		

Планируемые результаты освоения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач
ОПК(У)-4	Способен разрабатывать и применять специализированное программно-математическое обеспечение для проведения исследований и решения инженерных задач
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач
ПК(У)-2	Способен разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию
ПК(У)-3	Готов осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-

	измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладеть навыками измерений в реальном времени
ПК(У)-4	Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов
ПК(У)-5	Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения
ПК(У)-6	Способен анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников
ПК(У)-7	Готов определять цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ
ПК(У)-8	Способен проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований
ПК(У)-9	Способен разрабатывать проектно-конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями
ПК(У)-10	Способен организовывать работу коллективов исполнителей проводить технико-экономический и функционально-стоимостной анализ рыночной эффективности создаваемого продукта
ПК(У)-11	Способен проводить лабораторные и практические занятия со студентами бакалавриата
ПК(У)-12	Способен овладеть навыками разработки учебно-методических материалов для студентов по отдельным видам учебных занятий
Профессиональные компетенции университета	
ДПК (У)-1	Способен сопровождать работы по изготовлению микро- и нано размерных электромеханических систем, разрабатывать маршрут изготовления микро- и нано размерных электромеханических систем.

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 **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**
 Отделение **электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ А.И. Солдатов
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
1АМ92	Макаров Денис Андреевич

Тема работы:

Исследование эхо-сигнала

Утверждена приказом директора (дата, номер)	31.05.2021 г. 151-15/с
---	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2021 г
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <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>Объект исследований – математическая модель эхо-сигнала;</p> <p>Режим работы – периодический;</p> <p>Требования – модель должна быть параметрической,</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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 Обзор литературы 2 Реализация математической модели 3 Разработка принципиальной схемы 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5 Социальная ответственность 6 Выводы по результатам работы
--	--

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Графический материал по результатам эксперимента. 2. Схема электрическая принципиальная.
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Маланина В. А.
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М.

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

Раздел 3 Разработка устройства для реализации модели

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Солдатов А.А.	К. Т. Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ92	Макаров Денис Андреевич		

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

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**

Направление подготовки **11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**

Уровень образования **магистратура**

Отделение **электронной инженерии**

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2021 г
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
14.02.2021	Теоретическая часть	20
22.02.2021	Практическая часть	20
22.03.2021	Проведение экспериментальных исследования	20
22.04.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
30.04.2021	Социальная ответственность	10
10.05.2021	Написание раздела на иностранном языке	10
17.05.2021	Выводы по результатам работы.	5
28.05.2021	Оформление ВКР и представление работы рецензенту	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Солдатов А.А.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	А.И. Солдатов	д.т.н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1AM92	Макарову Денису Андреевичу

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	магистратура	Направление	11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость сырья и материалов: 3 815 руб. Размер окладов и выплат исполнителям проекта: 201044,9 руб. Амортизация: 160835,9 руб.
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления на социальные нужды: 60715,5 руб.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения
4. Определение бюджета НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Маланина Вероника Анатольевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM92	Макаров Денис Андреевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1АМ92	Макарову Денису Андреевичу

Школа		Отделение (НОЦ)	
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

Тема ВКР:

Исследование эхо-сигнала	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является система обработки ультразвукового сигнала. Областью применения является звуковая дефектоскопия.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: Недостаточная освещенность. Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ; Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ; Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры; Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R _{заземления} , СКЗ, СИЗ; Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.
3. Экологическая безопасность:	Промышленные отходы (бумага-черновики, орг.техника-картридж, лампы люминесцентные); Организационные методы утилизации.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее

	место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.
5. Перечень нормативно-технических документов, использованных в разделе «СО». <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; ГОСТ 12.2.032-78; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Рисунок размещения светильников на потолке. План эвакуации;

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	д. т. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ92	Макаров Денис Андреевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 101 с., 20 рис., 21 табл., 10 источников.

Ключевые слова: ультразвуковой эхо-сигнал, дискретизация, восстановление сигнала.

Предметом исследования является система обработки данных, полученных с ультразвукового датчика.

Объектом исследования является метод восстановления эхо-сигнала по его дискретным отчётам

Цель работы: построить математическую модель в среде MATLAB, обеспечивающую возможность генерации, дискретизации и восстановления ультразвукового эхо-сигнала и спроектировать устройство для реализации модели.

Оглавление

Введение.....	13
1 Аналитический обзор.....	14
2 Реализация модели.....	16
2.1 Генерация сигнала.....	16
2.2 Дискретизация сигнала.....	20
2.3 Восстановление сигнала.....	21
2.4 Анализ результатов восстановления сигнала	24
2.5 Устранение временного сдвига	26
2.6 Анализ амплитудной модуляции	28
3 Разработка устройства для реализации модели.....	31
3.1 Расчёт АЦП.....	32
3.2 Расчет усилителя.....	34
3.5 Расчет ОЗУ.....	36
3.6 Расчет генератора тактовых импульсов	38
3.8 Расчёт драйвера.....	41
4 Финансовый менеджмент.....	43
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	43
4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	43
4.3 SWOT-анализ.....	45
4.5 Цели и результат проекта.....	46
4.6 Организационная структура проекта	46
4.7 Иерархическая структура работ проекта.....	47
4.8 План проекта.....	48
4.9 Бюджет научно-технического исследования	50
4.9.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов).....	50
4.9.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	50
4.9.3 Расчет основной заработной платы	51
4.9.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	53
4.9.5 Отчисления во внебюджетные фонды.....	54

4.9.6 Накладные расходы	54
4.9.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .	54
5 Социальная ответственность.....	56
5.1 Производственная безопасность	56
5.1.1 Недостаточная освещённость рабочей зоны.....	57
5.1.2 Повышенный уровень электромагнитных излучений	59
5.1.3 Отклонение показателей микроклимата.....	63
5.1.4 Умственное перенапряжение	64
5.1.5 Поражение электрическим током.....	65
5.1.6 Пожарная безопасность помещения	68
5.2 Экологическая безопасность.....	70
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	72
5.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	72
5.4 Перечень нормативно-технических документов, использованных в разделе социальная ответственность	73
Заключение	75
Список используемых источников.....	76
Приложение А. Development of a device for the implementation of the model	77
Приложение Б. Код программы в среде MATLAB	90
Приложение В. Ультразвуковой дальномер схема электрическая принципиальная.....	99
Приложение Г. Ультразвуковой дальномер перечень элементов.....	101

Введение

Ультразвуковой метод неразрушающего контроля в настоящее время – один из самых широко используемых методов неразрушающего контроля. Главная цель применения ультразвуковых эхо-сигналов – это оценка внутренних дефектов различных материалов, в основном металлов и пластиков, помимо этого эхо-сигнала могут быть использованы для определения толщины, расстояния от излучателя до объекта контроля, для определения скорости потоков жидкостей и газов.

В настоящее время подавляющее большинство приборов для ультразвукового метода контроля – цифровые, то есть их работа связана с дискретизацией и последующим восстановлением эхо-сигналов по их отсчетам. В публикациях, посвященных анализу экспериментальных данных применения эхо-сигналов, частота дискретизации более чем в 15 раз превышает частоту сигнала. Однако, теоретически для передачи сигнала без потери информации частота дискретизации должна превышать частоту сигнала в более, чем 2 раза. Поэтому решено было провести исследование с целью оценки необходимого соотношения частоты дискретизации к частоте эхо-сигнала.

Наиболее важным результатом исследования является то, что чем ближе удастся подойти к теоретическому пределу, тем более простым, с точки зрения электроники, и экономически выгодным получится прибор для ультразвукового метода контроля.

1 Аналитический обзор

Поскольку ультразвуковой метод остаётся одним из наиболее востребованных методов неразрушающего контроля [1], регулярно публикуются исследования, в которых освещается взаимодействия акустических волн с различными материалами.

В статье [2] демонстрируется применение модифицированного алгоритма центральных эллипсов для обработки полученного эхо-сигнала. Модификация этого метода заключается в сочетании его с детектором границ Кэнни для определения границ эллипса, образованного огибающей эхо-сигнала. По словам авторов исследования, им удалось снизить ошибку измерения времени полёта волны на 30 процентов.

В статье [3] предлагается новый метод определения времени полёта волны при помощи построения огибающей. Суть предложенного метода заключается в том, чтобы сначала, к эхо-сигналу применяется метод шумоподавления, затем при помощи преобразование Гильберта [4], строится огибающая эхо-сигнала. После этого, параметры эхо-сигнала оценивается при помощи модифицированного алгоритма Гаусс-Ньютона, основанного на нелинейном методе наименьших квадратов [5]. Применение описанного метода позволяет уменьшить ошибку измерений с 3 до 0,6 процентов, то есть примерно в пять раз.

Дальнейшее развитие этого метода [6] заключается его сочетании с оконным преобразованием Фурье [7]. Сначала, выполняется оконное преобразование Фурье полученного эхо-сигнала, затем спектр эхо-сигнала проецируется во временную область. Время полёта волны оценивается путем вычисления местоположения на временной оси максимального значения в спектре сигнала. По словам авторов, применение этого метода позволяет снизить ошибку определения времени полёта волны с 0,6 до 0 процентов (в некоторых случаях). Также авторы отмечают, что достоинство этого метода состоит в том, что его точность выше при низком отношении сигнал - шум.

Ультразвуковые эхо-сигналы также можно использовать для контроля потока газа или жидкости. Так авторы исследования [8] отмечают особую значимость ультразвукового метода контроля потока природного газа в трубах большого диаметра. Для повышения точности контроля в этом исследовании был предложен метод анализа эхо-сигнала на основе значения интеграла его энергии. Метод основан на определении порогового значения энергии сигнала, после того как интегрируемое значение энергии достигает порогового, измеряется время полёта волны. Авторы после проведения эксперимента отмечают отказоустойчивость данного метода измерения.

Из сказанного выше можно заметить, что основное направление в области исследования эхо-сигналов – это изучение методов обработки их огибающей. Но несмотря на то что, в настоящее время обработка эхо-сигналов в подавляющем большинстве случаев осуществляется при помощи цифровых устройств. работ, посвященных изучению процесса восстановления эхо-сигналов по их дискретным отчётам, крайне мало. Поэтому было принято решение произвести математическое моделирование этого процесса.

2 Реализация модели

2.1 Генерация сигнала

Принятый датчиком эхо-сигнал можно представить в виде локализованного во времени гармонического сигнала. Локализацию можно осуществить с помощью функции вида:

$$u(t) = \exp(-b \cdot (t - \tau)^2), \quad (1)$$

где $u(t)$ – функция локализации;

τ – время полёта волны, с;

b – коэффициент, характеризующий скорость затухания колебаний.

Используя выражение (2.1), форму принятого сигнала можно выразить как произведение гармонической функции и функции локализации во времени:

$$s(t) = A \cdot u(t) \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot (t - \tau) + \varphi_0), \quad (2)$$

где $s(t)$ – функция, описывающая форму, принятого эхо-сигнала;

A – амплитуда сигнала, В;

f_0 – частота колебаний, Гц;

φ_0 – начальная фаза сигнала, рад.

На значение амплитуды сигнала влияют коэффициенты отражения (R) и прохождения (T), а также коэффициент затухания волны в среде. Амплитуду принятого сигнала можно выразить следующим выражением:

$$A_n = A'_n \cdot R_n \cdot \exp\left(\sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i \cdot d_i\right) \cdot T_n \quad (3)$$

где A_n – амплитуду принятого сигнала, В;

A'_n – амплитуда волны, падающей на границу раздела, В;

R_n – коэффициент отражения для n -ой среды;

α – коэффициент затухания, $\frac{\text{Нп}}{\text{м}}$;

d_i – расстояние, проходимое волной в среде, м;

T_n – произведение коэффициентов прохождения через n сред;

Коэффициент отражения для волны, падающей на границу раздела двух сред, можно определить, зная акустический импеданс, каждой из них:

$$R_{1-2} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}, \quad (4)$$

где Z_1, Z_2 – акустический импеданс сред 1 и 2 соответственно, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$.

Коэффициент прохождения волны через границу раздела сред определяется, как:

$$T_{1-2} = 1 - R_{1-2} = 1 - \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{2 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}. \quad (5)$$

Пользуясь выражением (1.5), можно определить T_n в выражении (3):

$$T_n = \prod_{\substack{i=1 \\ j=2}}^{\substack{n-2 \\ n-1}} T_{i,j}. \quad (6)$$

Акустический импеданс среды определяется выражением:

$$Z = \rho \cdot c, \quad (7)$$

где ρ – плотность среды, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

c – скорость распространения звуковой волны в среде, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

В случае гетерогенной системы полученный датчиком эхо-сигнал можно представить, как суперпозицию волн, отраженных от каждой из границ раздела сред:

$$S(t) = \sum_{i=1}^n s_i(t) + r(t), \quad (8)$$

где $S(t)$ - функция, описывающая суперпозицию эхо-сигналов;

$r(t)$ – функция, описывающая шумы в системе.

Реализация функции, генерирующей эхо-сигнал при помощи выражения (2.8) в среде MATLAB, приведена в приложении Б.

Результат работы модели – одномерный массив (вектор), содержащий значения амплитуды принятого сигнала. Полученная зависимость амплитуды сигнала от времени представлена на рисунке 1.

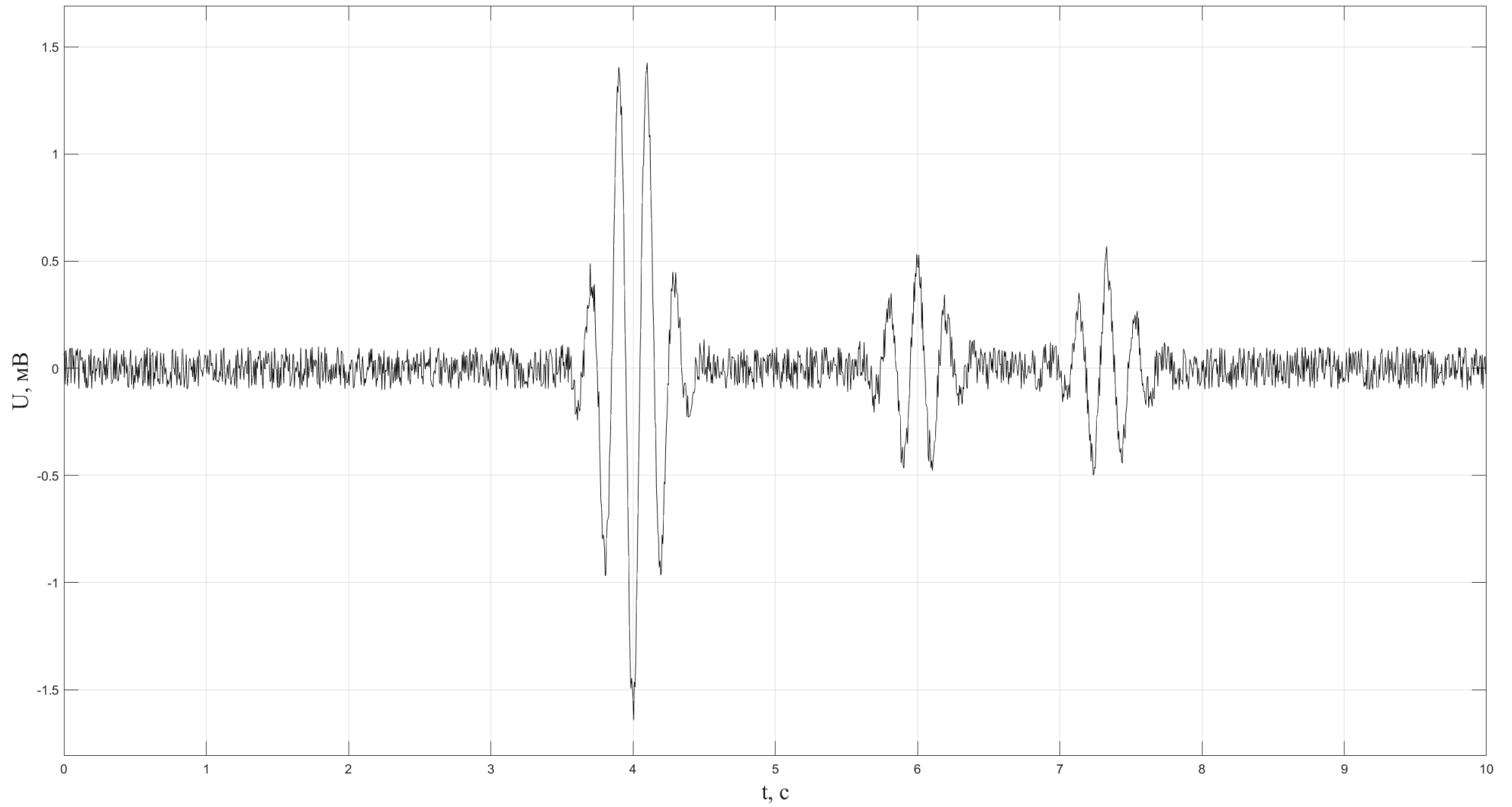


Рисунок 1 – Зависимость амплитуды принятого сигнала от времени

2.2 Дискретизация сигнала

Дискретизацией называется процесс преобразования аналогового (непрерывного во времени) сигнала в последовательность дискретных отчётов [9]. Можно отметить, что при работе с реальными эхо-сигналами помимо квантование исходного сигнала во времени, также имеет место быть квантование по уровню, обусловленное конечной разрешающей способностью АЦП. Полученный в результате дискретизации набор отчётов можно описать формулой:

$$s[n] = s_c(n \cdot T), \quad (9)$$

где $s[n]$ – дискретная функция, описывающая эхо-сигнал;

n – номер отчёта;

$s_c(t)$ – функция описывающая аналоговый сигнал;

T – период дискретизации.

Согласно теореме Котельникова [9] для реализации передачи сигнала без потери информации необходимо чтобы, период дискретизации соответствовал частоте, превышающей более чем в 2 раза частоту наивысшей гармоники в исходном сигнале. Применительно к ультразвуковому эхо-сигналу, можно сказать, что частота дискретизации должна минимум в два раза превышать частоту пьезопреобразователя.

Одна из возможной реализации дискретизации сигнала в среде MATLAB представлена в приложении Б.

2.3 Восстановление сигнала

Процесс восстановления сигнала выполняется при помощи интерполяционной формулы Шеннона [4]:

$$s_r(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s[n] \cdot \text{sinc}\left(\frac{t}{T} - n\right), \quad (10)$$

где $s_r(t)$ – функция, описывающая восстановленный сигнал;

sinc – функция кардинального синуса.

В формуле используется нормированный вариант функции кардинального синуса, который определяется следующим образом:

$$\text{sinc}(x) = \begin{cases} 1; & x = 0 \\ \frac{\sin(\pi \cdot x)}{\pi \cdot x}; & x \neq 0 \end{cases}. \quad (11)$$

Листинг кода варианта реализации восстановления сигнала при помощи интерполяционной формулы Шеннона в среде MATLAB представлен в приложении Б.

Результат восстановления сигнала представлен на рисунке 2. Совмещенные исходный и восстановленный сигналы представлены на рисунке 3.

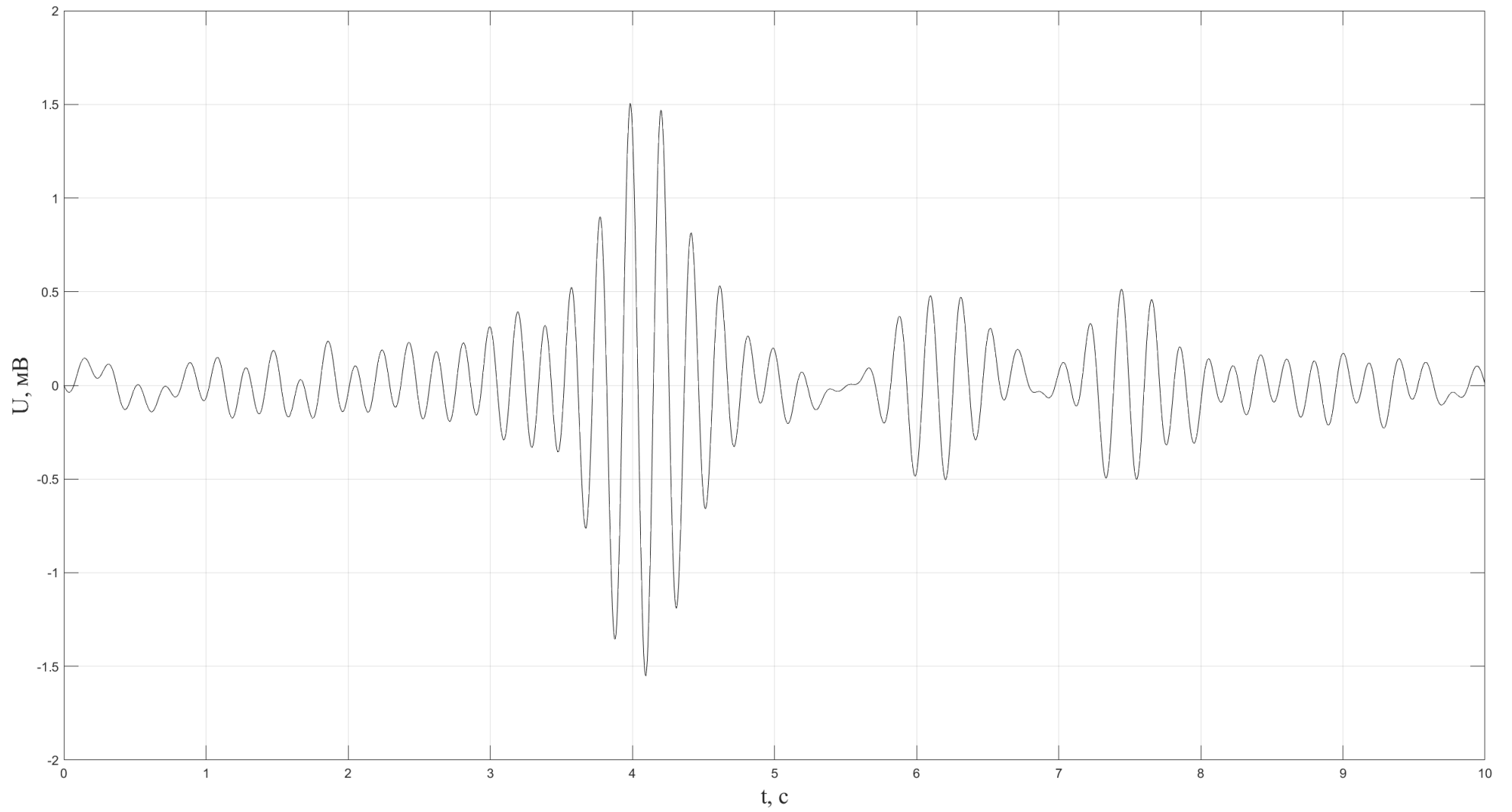


Рисунок 2 – Восстановленный сигнал

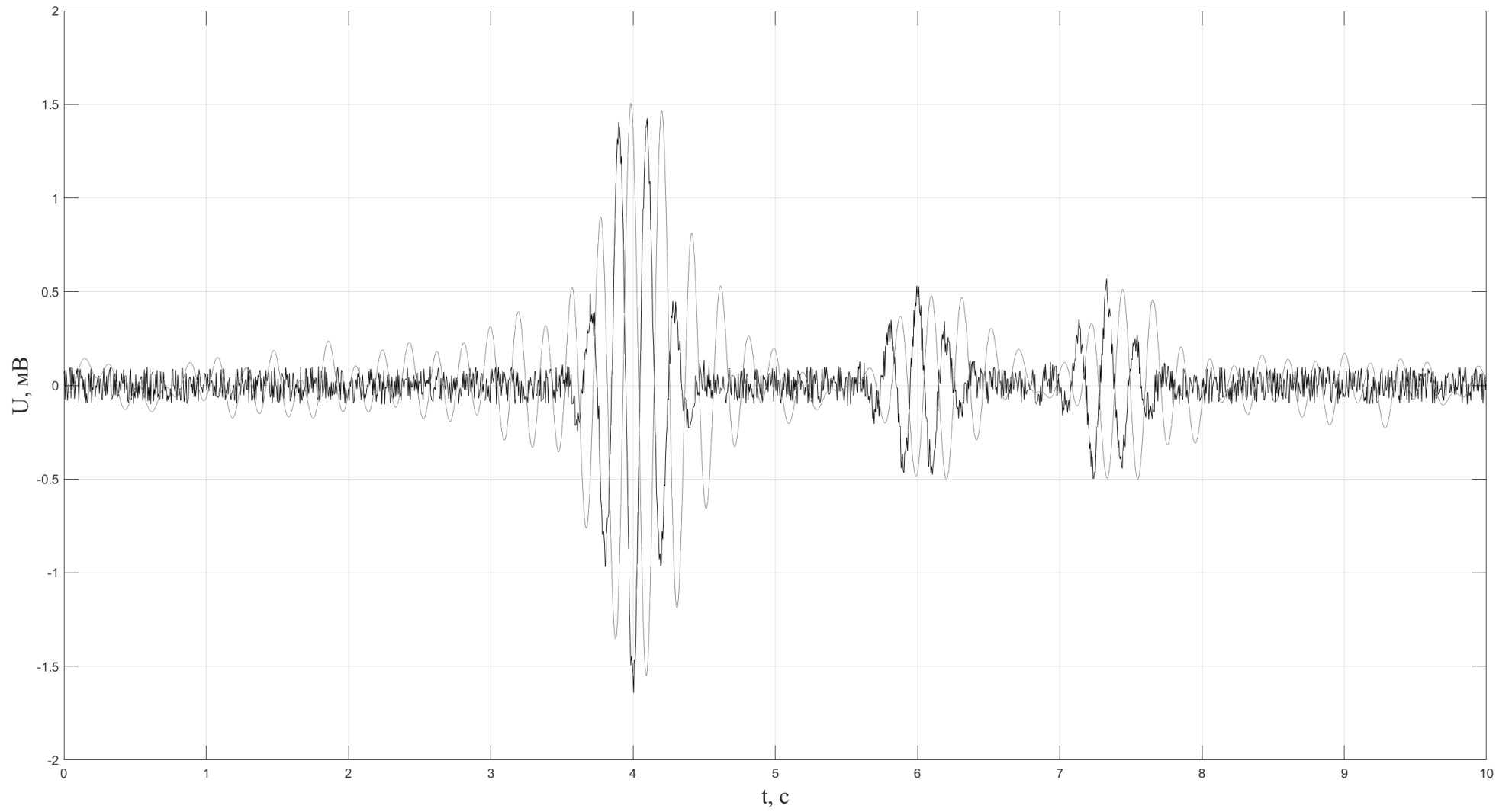


Рисунок 3 – Наложенные исходный и восстановленный сигналы, отношение частот 2,1

2.4 Анализ результатов восстановления сигнала

Анализируя полученную путём наложения двух сигналов картину (рис. 3) можно заметить, что в восстановленном сигнале проявляется амплитудная модуляция, а также он сдвинут во времени относительно исходного сигнала. При этом, если увеличить отношение частоты дискретизации к частоте сигнала, например, до значения 3,5 (рис. 4), проявление амплитудной модуляции и сдвиг во времени уменьшаются.

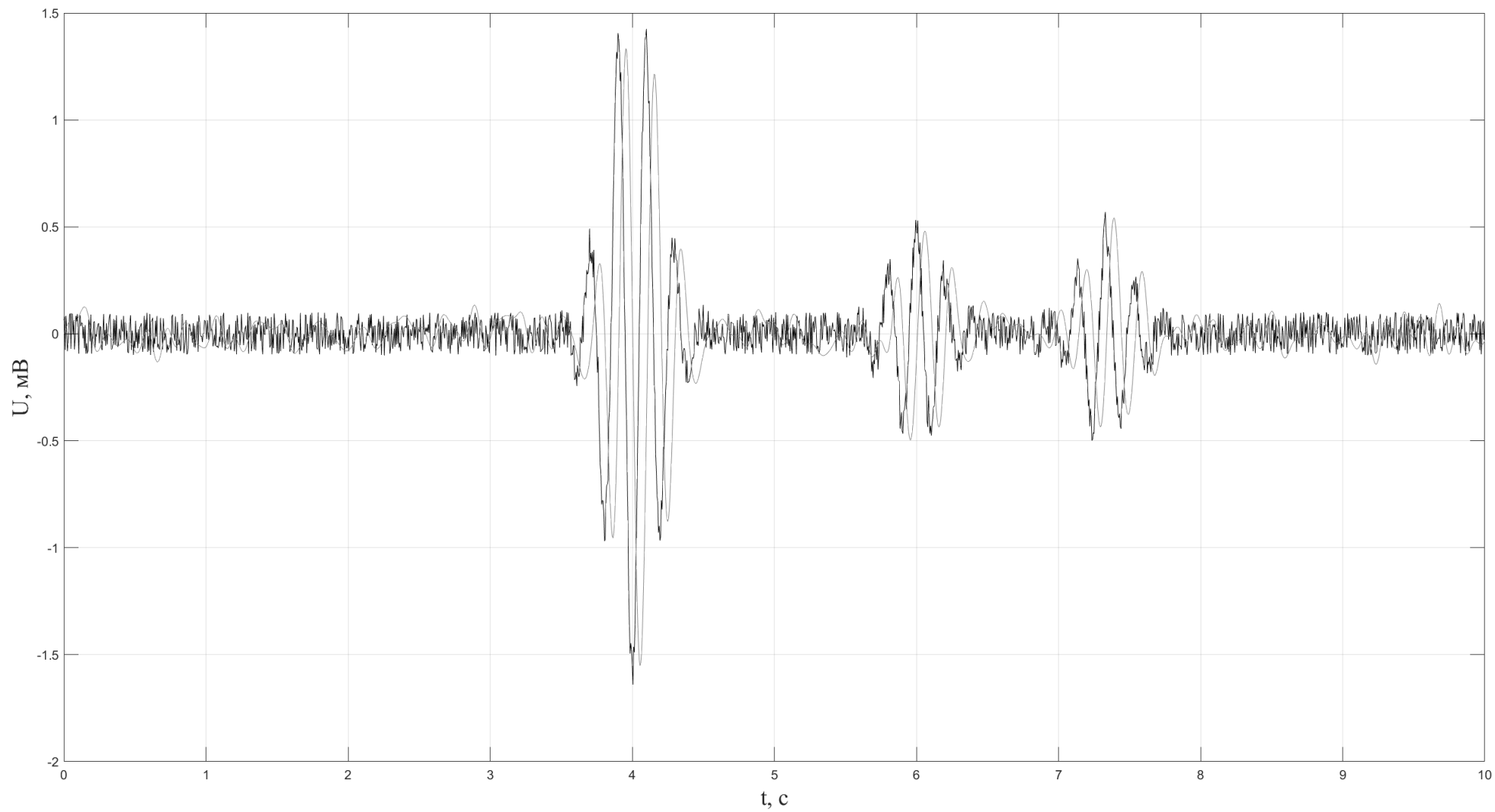


Рисунок 4 – Наложённые исходный и восстановленный сигналы, отношение частот 3,5

2.5 Устранение временного сдвига

Метод устранения временного сдвига базируется на определении локальных максимумов в сигналах. Сначала определяется первый локальный максимум в исходном сигнале. Так как точно известно, что восстановленный сигнал сдвинут по временной оси вправо, соответствующий локальный максимум в нём должен быть после локального максимума в исходном. Поэтому в восстановленном сигнале определяется локальный максимум ближайший к первому локальному максимуму в исходном сигнале. После чего между этими двумя точками рассчитывается временной сдвиг и восстановленный сигнал смещается влево по временной шкале на это значение.

Для расчёта временного сдвига и его устранения была написана функция, листинг которой представлен в приложении Б.

Наложенные друг на друга графики исходного и сдвинутого при помощи выше описанной функции сигналов представлены на рисунке 5.

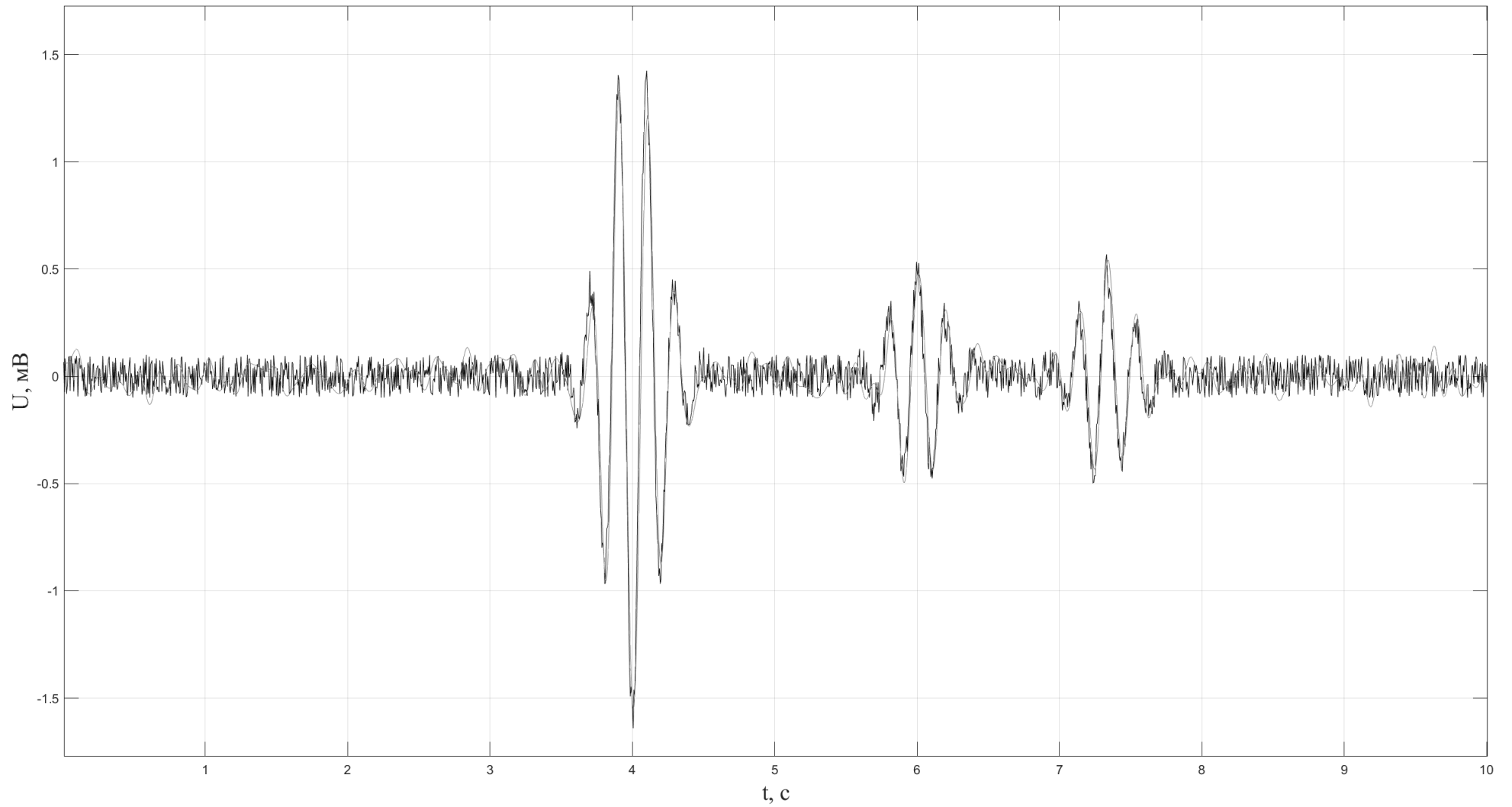


Рисунок 5 – Наложенные графики исходного и скорректированного восстановленного сигнала

2.6 Анализ амплитудной модуляции

Чтобы численно охарактеризовать степень проявления амплитудной модуляции введём величину σ_A , которая определяется выражением:

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (s_r(t_i) - s_c(t_i))^2}, \quad (12)$$

где $s_r(t)$ – смещенный во времени восстановленный сигнал

$s_c(t)$ – исходный сигнал.

Иными словами, величина σ_A характеризует среднее отклонение мгновенного значения, смещенного во времени восстановленного сигнала относительно исходного. Для расчёта σ_A была написана функция в среде MATLAB, которая приведена в приложении Б.

Для вычисления зависимости проявления амплитудной модуляции и величины временного сдвига от соотношения частоты дискретизации к частоте исходного сигнала в среде MATLAB была написана программа, код которой приведен в приложении Б.

Результаты работы этой программы в виде графиков зависимости значения временного сдвига и величины σ_A от соотношения частоты дискретизации к частоте сигнала представлены на рисунках 7 и 8.

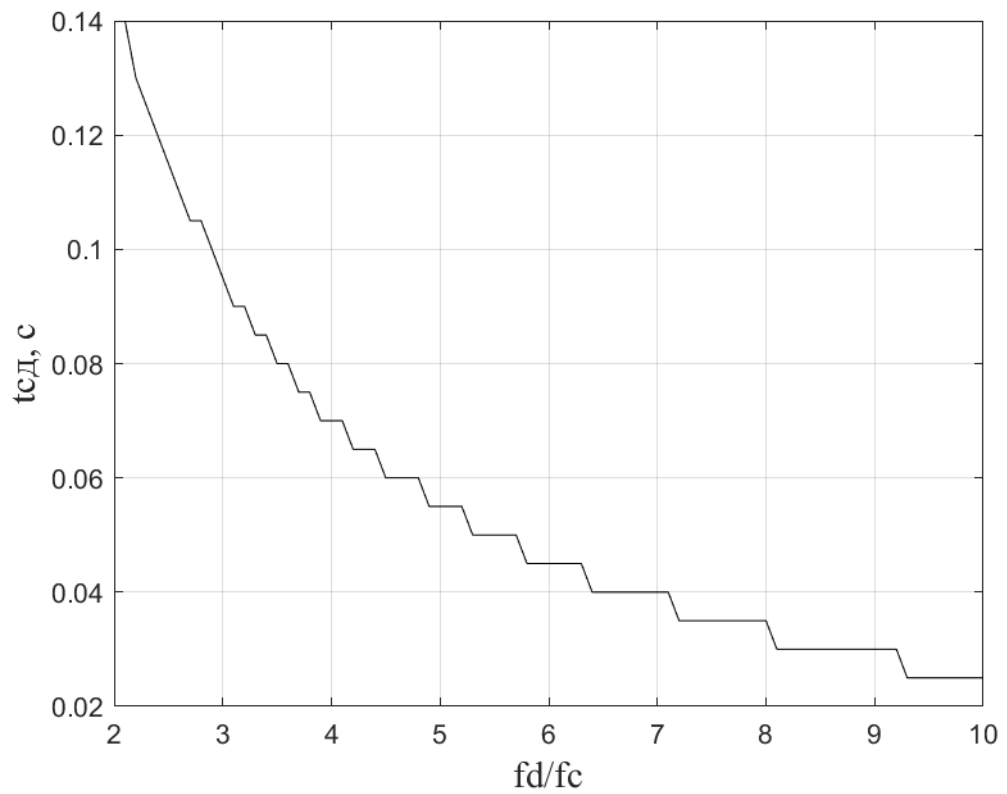


Рисунок 7 – График зависимости временного сдвига от соотношения частот

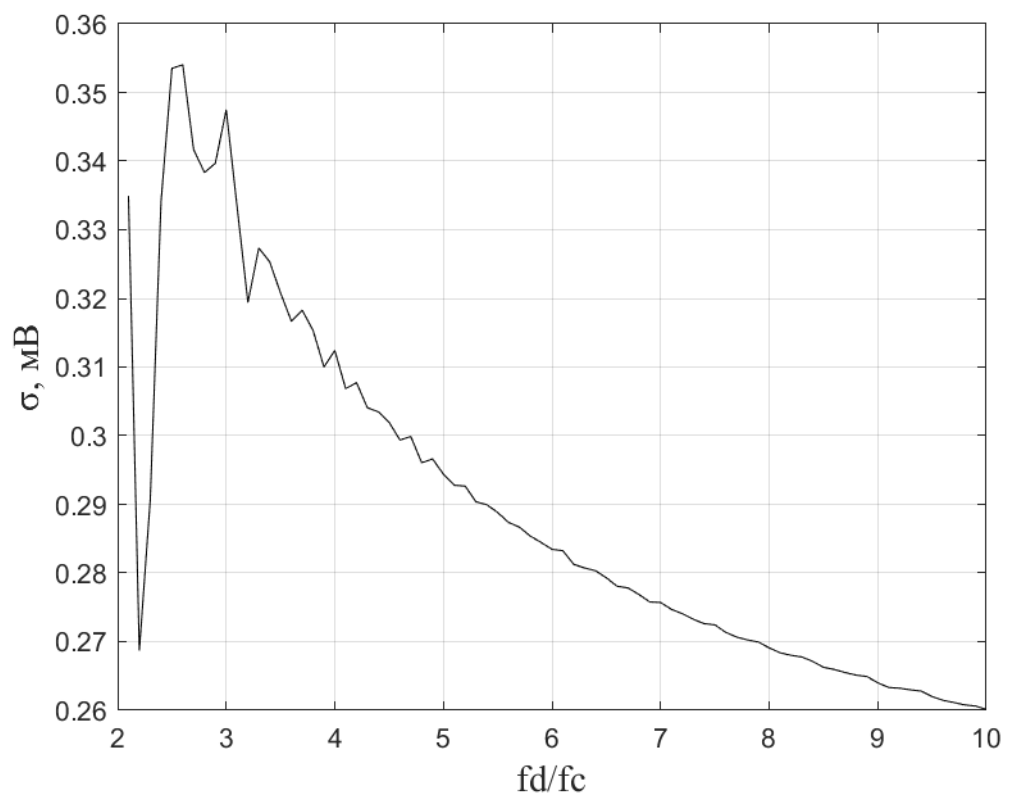
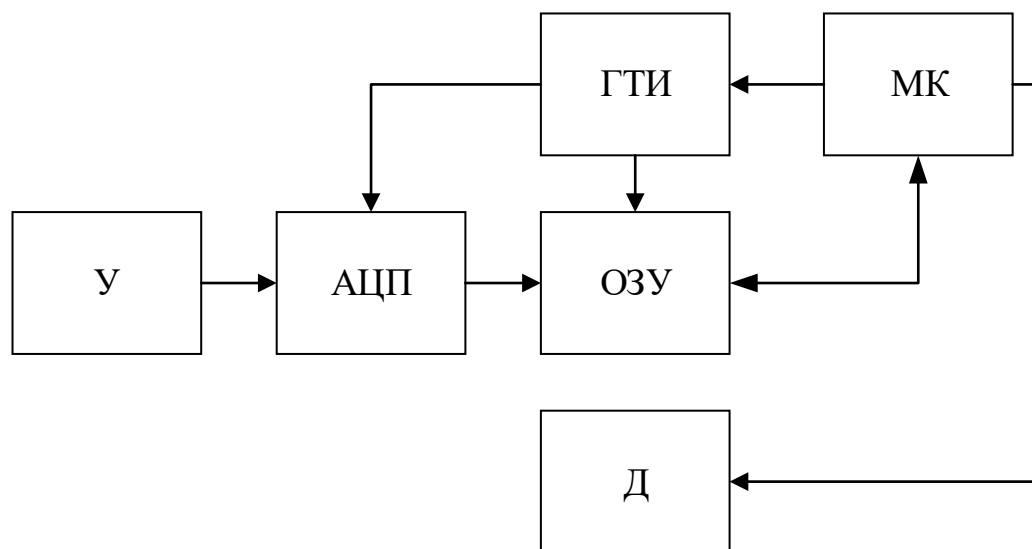


Рисунок 8 – График зависимости среднего квадратичного значения разности сигналов (σ_A) от соотношения частот

По графикам представленными рисунками 7 и 8 можно сказать, что зависимость временного сдвига и среднего значения разности сигналов от соотношения частот носит логарифмический характер и убывает по мере увеличения частоты дискретизации. Также необходимо отметить, что первые несколько значений σ_A обусловлены недостатками алгоритма измерений, поскольку в сигнале (рис. 1) участки между отдельными эхо-сигналами представляют собой горизонтальные линии, а именно такие сочетания сигналы крайне сложно описать рядом, состоящим из гармонических функций.

3 Разработка устройства для реализации модели

Структурная схема проектируемого устройства представлена на рисунке 9.



У – усилитель, АЦП – аналогово-цифровой преобразователь, ГТИ – генератор тактовых импульсов, ОЗУ – оперативное запоминающее устройство, Д – драйвер, МК - микроконтроллер

Рисунок 9 – Структурная схема, разрабатываемого устройства

Проектируемое устройство работает по следующему принципу. Микроконтроллер получает команду по USB-интерфейсу от компьютера о начале измерения. После этого контроллер запускает генератор тактовых импульсов для тактирования АЦП и ОЗУ, и посылает иницирующий импульс через драйвер. Время проведения измерения отмеряет микроконтроллер при помощи встроенного счётчика. По прошествии заданного времени контроллер отключает ГТИ, после чего, отсылает по частям содержимое внешнего ОЗУ компьютеру для последующего анализа полученных данных, в частности восстановления сигнала по его дискретным отчётам.

3.1 Расчёт АЦП

Главное требование к АЦП – обеспечение требуемой частоты дискретизации. Наиболее часто встречающаяся частота ультразвуковых пьезопреобразователей находится в интервале от 1 до 5 МГц, поэтому частота дискретизации АЦП должна составлять до 50 МГц, а также необходимо, чтобы он обладал параллельным интерфейсом вывода данных, для уменьшения времени считывания полученных значений. Необходимо отметить, что в А-скане требования к точности времени значительно выше, чем к точности значения амплитуды. Поэтому разрешающая способность АЦП не так важна, как число выборок в секунду. Под эти требования подходит АЦП AD9057-60, схема которого представлена на рисунке 10, а основные параметры приведены в таблице 1

Таблица 1 – Основные параметры АЦП AD9057-60

Параметр	Значение
Частота дискретизации, МГц	60
Разрешающая способность, бит	8
Количество каналов	1
Размах входного напряжения, В	1
Напряжение питания аналоговой части, В	5
Напряжение питания цифровой части, В	3,3

1	PWRDN	ADC	D0	20
2	VRO		D1	19
3	VRI		D2	18
6	BO		D3	17
7	AIN		D4	14
10	ENC		D5	13
			D6	12
5	VD		D7	11
8	VD			
15	VDD			
4	GND			
9	GND			
16	GND			

Рисунок 10 – Схема АЦП AD9057-60

Необходимо отметить, что размах входного напряжения, выбранного АЦП измеряется относительно напряжения 2,5 В, что нужно учитывать при проектировании усилителя.

3.2 Расчет усилителя

Как отмечалось ранее, от усилителя требуется не только усилить сигнал с пьезопреобразователя до размаха в 1 В, но и сместить его на 2,5 В. Добиться этого позволит аналоговый сумматор, реализованный на операционном усилителе TLV9061SQDBVRQ1. Схема представлена на рисунке 11.

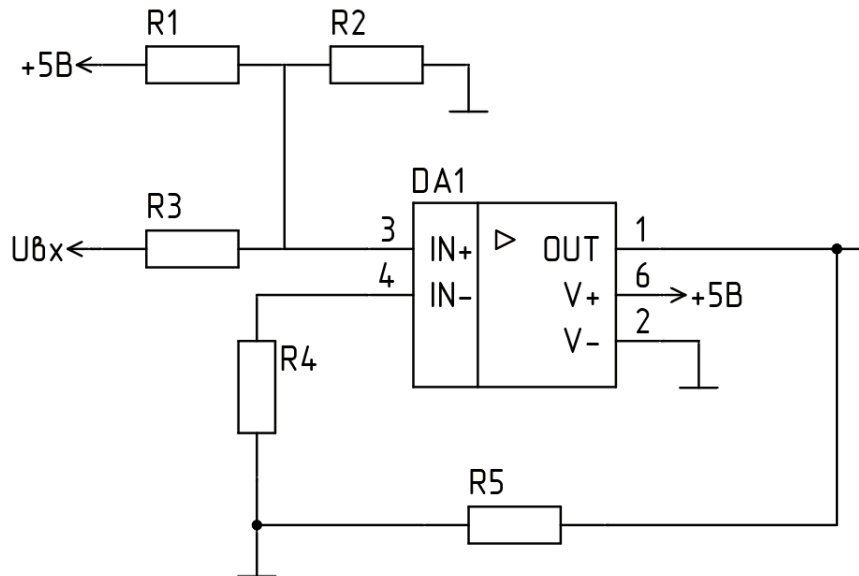


Рисунок 11 – Схема аналогового сумматора

Номиналы резисторов определяются при помощи выражения:

$$U_{\text{вых}} = 5 \cdot \frac{R_2}{R_1} + U_{\text{вх}} \cdot \frac{R_2}{R_3}, \quad (13)$$

где $U_{\text{вх}}$ – напряжение с пьезопреобразователя, В;

$R_1 \dots R_3$ – значения сопротивления резисторов, Ом.

Для корректной работы аналогового неинвертирующего сумматора необходимо соблюдение условия [10]:

$$\frac{R_5}{R_4} = \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_3}. \quad (14)$$

Примем сопротивление резистора R_2 равным 510 кОм. Тогда номинал резистора R_1 составит 1,2 МОм, чтобы обеспечить напряжение 2,5 В. Выходной сигнал пьезопреобразователя составляет единицы мВ, тогда чтобы обеспечить

размах сигнала до 1 В, необходимо его усилить в 100 раз. Отсюда можно определить номинал резистора $R_3 = 5,1$ кОм. Примем сопротивление резистора R_5 равным 1 МОм, тогда для выполнения равенства (14) можно задать сопротивление резистора $R_4 = 10$ кОм.

3.5 Расчет ОЗУ

Так как в данном случае не требуется реализация доступа к отдельному записанному в память значению амплитуды, можно использовать FIFO-буфер. Так как у выбранного АЦП параллельный выход, от микросхемы FIFO-буфера требуется, чтобы разрядность её шины данных была не меньше разрядности шины АЦП. Помимо этого, необходимо, чтобы размера памяти было достаточно для записи всех полученных отчётов сигнала с пьезопреобразователя. Необходимое количество бит определяется как

$$N = f_s \cdot t_n \cdot m, \quad (15)$$

где N – необходимый объём памяти, бит;

f_s – частота дискретизации, Гц;

t_n – время полёта волны, с;

m – разрешающая способность АЦП, бит.

Для оценки этого значения примем что между датчиком и местом отражения волны 20 см, и волна распространяется в воздухе. Тогда необходимый размер определится как

$$N = 5 \cdot 10^7 \cdot \frac{0,2 \cdot 2}{330} \cdot 8 = 4,77 \cdot 10^5 \text{ бит.} \quad (16)$$

Под эти требования подходит микросхема FIFO-буфера IDT72V2101L10, основные параметры которой представлены в таблице 2 и схема – на рисунке 12.

Таблица 2 – Основные параметры FIFO-буфера IDT72V2101L10

Параметр	Значение
Разрядность шины данных, бит	9
Напряжение питания, В	3,3
Максимальная тактовая частота, МГц	100
Размер памяти, бит	2 359 296

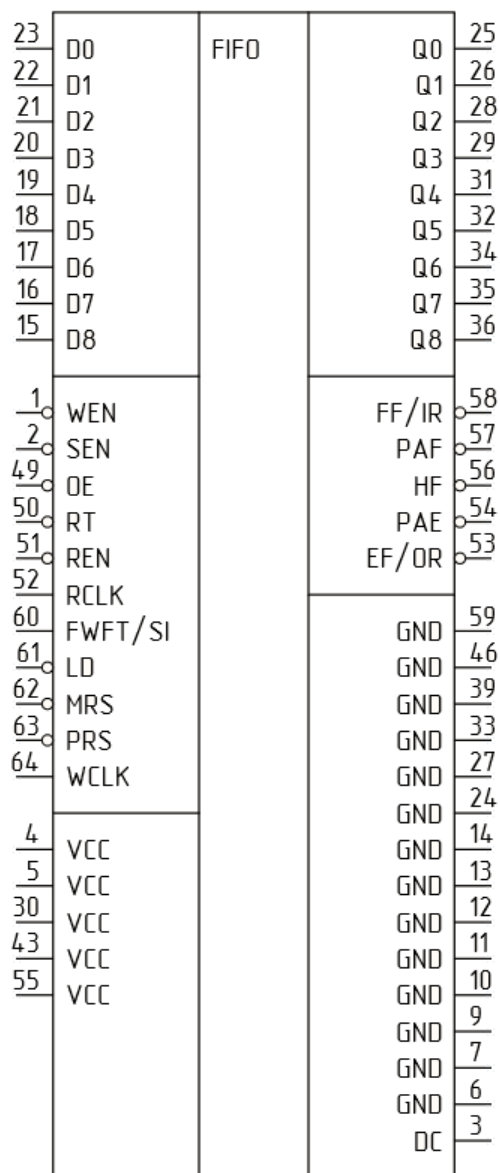


Рисунок 12 – Схема FIFO-буфера IDT72V2101L10

3.6 Расчет генератора тактовых импульсов

Для управления частотой генерации тактовых импульсов, поступающих на АЦП и ОЗУ используется микросхема ICS307-02, схема которой представлена на рисунке 13, в сочетании с кварцевым резонатором на 24 МГц.

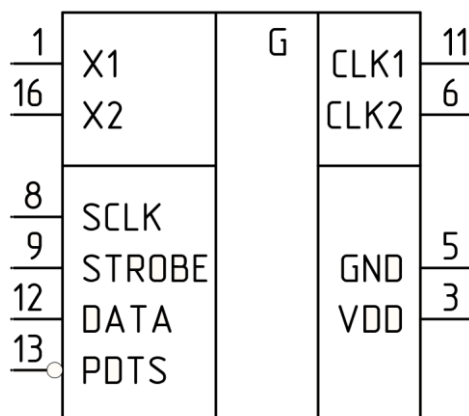


Рисунок 13 – Схема генератора ICS307-02

По причине того, что тактирование как АЦП, так и ОЗУ происходит по переднему фронту тактирующего сигнала, необходимо применить инвертер, чтобы обеспечить запись в память корректных данных. В качестве инвертера используется микросхема MC74HC1G04, схема которой представлена на рисунке 14.

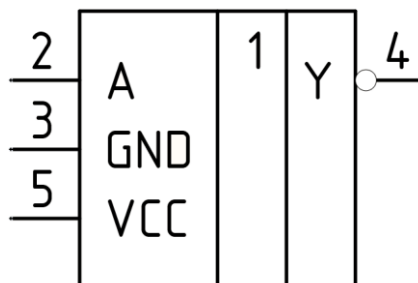


Рисунок 14 – Схема инвертера MC74HC1G04

3.7 Выбор микроконтроллера

Для организации управления генератором и памятью, а также для связи с компьютером используется микроконтроллер STM32G474RC. Схема информационных вводов-выводов приведена на рисунке 15, схема выводов питания приведена на рисунке 16

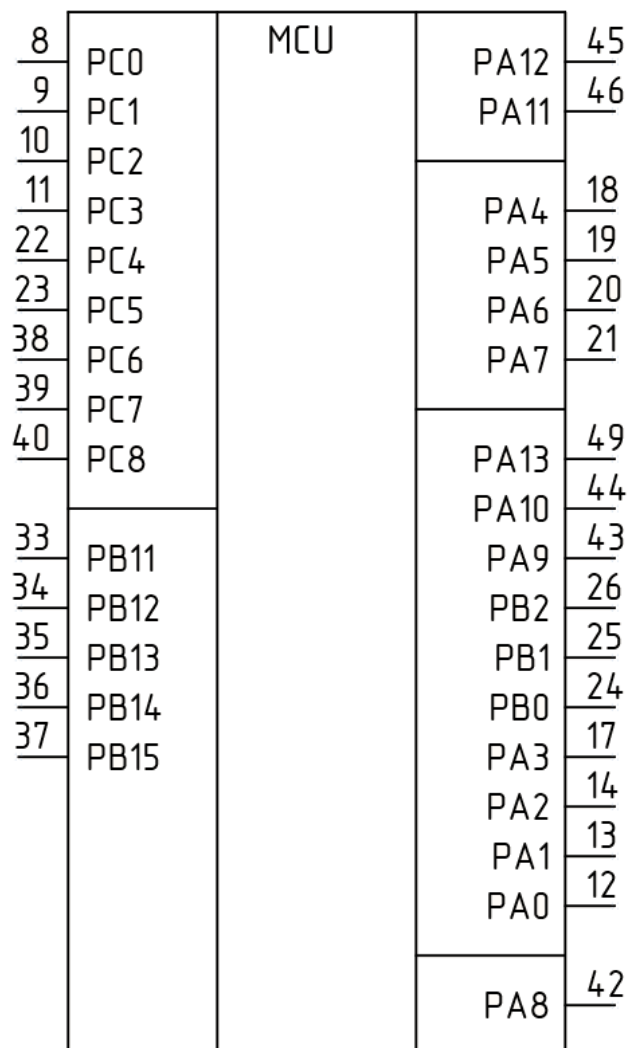


Рисунок 15 – Схема информационных вводов-выводов микроконтроллера STM32G474RC

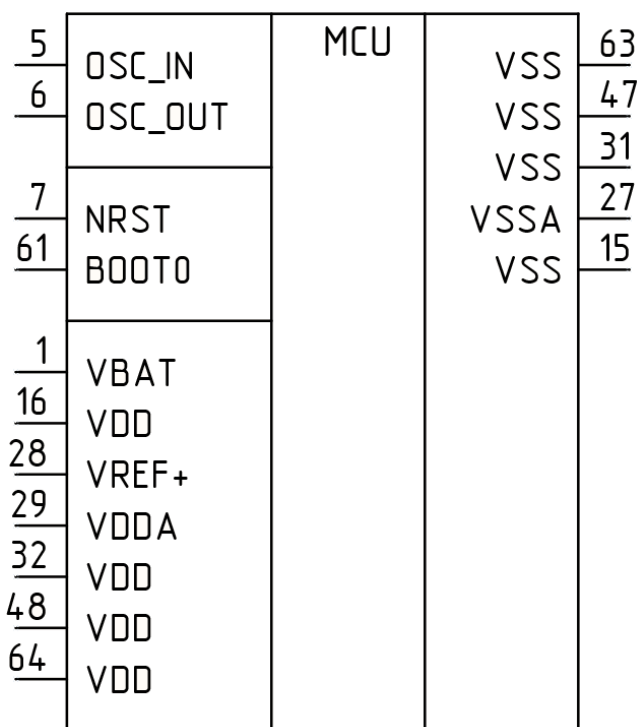


Рисунок 16 – Схема выводов питания микроконтроллера STM32G474RC

Управление генератором осуществляется при помощи интерфейса SPI, для связи с микросхемой памяти используются дискретные вводы-выводы. Связь с компьютером осуществляется посредством интерфейса USB.

3.8 Расчёт драйвера

В качестве драйвера пьезопреобразателя используется типовое решение, выполненное на одном биполярном транзисторе NSVS50031SB3, параметры которого приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные параметры транзистора NSVS50031SB3

Параметр	Значение
Напряжение коллектор-эмиттер, В	50
Ток коллектора, А	3
Статический коэффициент усиления по току	200
Падение напряжение коллектор-эмиттер, В	0,1

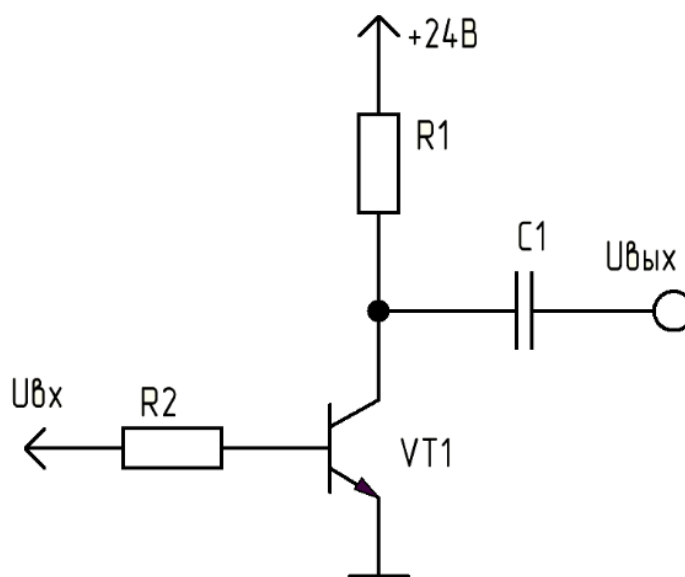


Рисунок 17 – Схема драйвера пьезопреобразателя

Примем сопротивление резистора R_1 равным 1 кОм, тогда ток коллектора в состоянии насыщения составит

$$I_{\kappa} = \frac{E - U_{\kappa\varepsilon}}{R_1} = \frac{24 - 0,1}{1 \cdot 10^3} = 23,9 \text{ мА}, \quad (17)$$

где I_{κ} – ток коллектора, А;

E – напряжение питания драйвера, В;

$U_{\kappa\varepsilon}$ – падение напряжение на транзисторе в состоянии насыщения, В.

Примем коэффициент насыщения равным 1,2 тогда необходимый ток базы составит

$$I_{\delta} = \frac{I_{\kappa} \cdot \gamma}{\beta} = \frac{23,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2}{200} = 1,43 \cdot 10^{-4} \text{ А}, \quad (18)$$

где I_{δ} – ток базы транзистора, А;

γ – коэффициент насыщения;

β – статический коэффициент усиления по току.

Тогда сопротивление резистора R_2 должно быть не более, чем

$$R_2 = \frac{U_{\text{ex}}}{I_{\delta}} = \frac{3,3}{1,43 \cdot 10^{-4}} = 2,3 \cdot 10^4 \text{ Ом}, \quad (19)$$

где U_{ex} – напряжение с вывода микроконтроллера, В.

Ближайшее значение в ряде E24 – 22 кОм. Значение ёмкости конденсатора $C1$ – 0,1 мкФ.

Принципиальная схема спроектированного устройства приведена в приложении В, перечень элементов в приложении Г.

4 Финансовый менеджмент

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Данная работа посвящена моделированию ультразвукового эхо-сигнала. Полученная в результате модель позволяет определить требования, предъявляемые к дефектоскопам. Выявление этих требований на этапе моделирование процесса ультразвуковой дефектоскопии в различных программных пакетах значительно более выгодно, чем при испытаниях прототипов устройств, так как исключает затраты на комплектующие для них и издержки, обусловленные внесением изменений в конструкции дефектоскопов.

Результаты, проводимого исследования, могут быть использованы компаниями, применяющими ультразвуковые дефектоскопы для контроля качества продукции.

4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и был проведен с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 1. Основными конкурентами полученной модели можно назвать модуль k-wave – Бк1 и программный пакет COMSOL – Бк2. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1, подбирались, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. В качестве основных критериев оценки математических моделей будут выступать потребность в ресурсах ЭВМ, количество моделируемых этапов исследования, цена.

Таблица 3 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0.05	3	3	4	0.15	0.15	0.2
2. Потребность в ресурсах ЭВМ	0.2	4	4	2	0.8	0.8	0.4
3. Отсутствие зависимости от другого ПО	0.15	1	1	5	0.15	0.15	0.75
4. Количество моделируемых этапов исследования	0.1	5	3	3	0.5	0.3	0.3
5. Гибкость описания объекта исследования	0.1	2	3	5	0.2	0.3	0.5
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0.15	2	3	5	0.3	0.45	0.75
2. Уровень проникновения на рынок	0.05	1	2	5	0.05	0.1	0.25
3. Цена	0.2	5	5	2	1	1	0.4
Итого	1	23	24	31	3.15	3.25	3.55

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (20)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Из таблицы 3 видно, что разрабатываемый продукт наиболее конкурентоспособен, в сравнении с конкурентной продукцией, за счет таких показателей, как количество моделируемых этапов исследования, цена. Однако разрабатываемый образец уступает конкурентам в гибкости описания объекта исследования. Таким образом, в дальнейшем, для удержания продукта на рынке, необходимо улучшать этот показатель.

4.3 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.

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

В итоге должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в магистерской диссертации (таблица 4)

Таблица 4 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Низкая стоимость; С2. Возможность выявить требования к устройству, на этапе моделирования; С3. Малая конкуренция; С4. Открытый программный код. С5. Возможность выявить требования к устройству, на этапе моделирования	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Зависимость от пакета MATLAB Сл2. Низкая гибкость описания модели
Возможности: В1. Использование проекта в смежных целях; В2. При использовании информационных ресурсов ТПУ выход на нескольких конечных потребителей; В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт	Низкая стоимость продукта в сочетании с возможностью выхода на конечного пользователя позволяет занять твердую позицию на рынке.	Обратная связь от потребителей позволит увеличивать универсальность модели, при низких затратах на разработку.
Угрозы: У1. Подорожание пакета MATLAB; У2. Уход с российского рынка дистрибьютера пакета MATLAB;	Сохранение низкой стоимости модели позволит сохранить высокий спрос при повышении цен на пакет MATLAB.	Использование свободно распространяемого языка программирования позволит сократить цену модели для пользователей.

4.5 Цели и результат проекта

Информация о заинтересованных сторонах проекта, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты в результате завершения проекта представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИТПУ отделение ЭИ	Удовлетворение потребностей страны в высококвалифицированных специалистов
Разработчик проекта (магистрант)	Усовершенствование методов обработки ультразвуковых эхо-сигналов
Разработчики ультразвуковых дефектоскопов	Получение требований к дефектоскопам в результате моделирования

Информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей представлена в таблице 6. Цели проекта включают цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 6 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Моделирование ультразвукового эхо-сигнала.
Ожидаемые результаты проекта:	Математическая модель, позволяющая выявить требования к ультразвуковым дефектоскопам: частоту дискретизации, соотношение сигнал-шум.
Критерии приемки результата проекта:	Адекватность результатов
Требования к результату проекта:	Требование:
	Математическая модель должна представлять собой программный код

4.6 Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информацию представить в табличной форме (таблица 7).

Таблица 7 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
Солдатов А. А., кандидат технических наук, доцент ОЭИ, ТПУ	Руководитель	Координирует деятельность участников проекта	408
Макаров Д. А. магистр	Исполнитель	Выполнение НИР	872
Итого			1280

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- Иерархическая структура работа проекта.
- План проекта.
- Бюджет научного исследования.

4.7 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 18 представлен шаблон иерархической структуры.

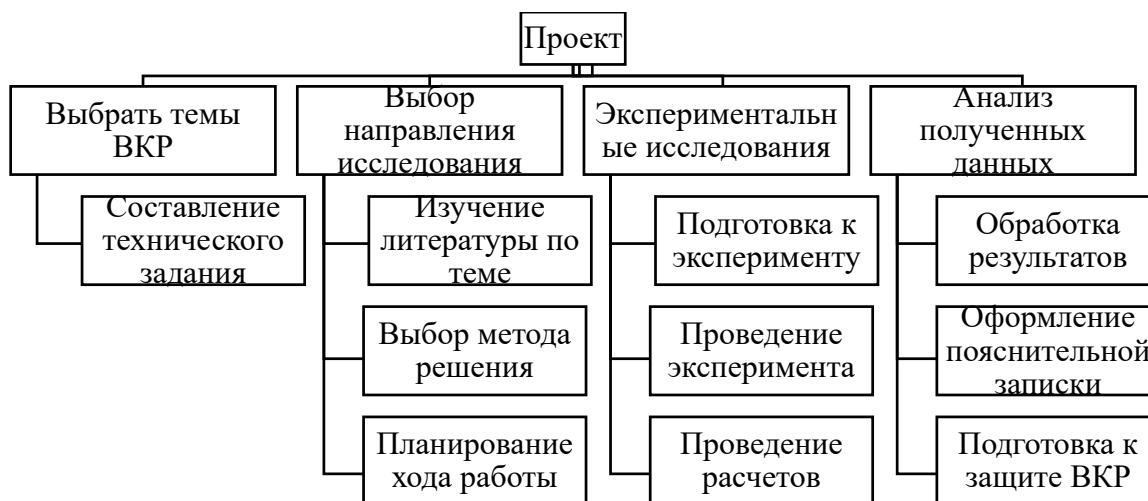


Рисунок 18 – Иерархическая структура по ВКР

4.8 План проекта

В рамках планирования научного проекта построены календарный и сетевой графики проекта. Календарный план проекта представлен в таблице 8.

















Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Код раб.	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окон-я работ	Состав участников (ФИО исполн.)
1	Постановка целей и задач.	7	15.02.2021	22.02.2021	Солдатов А.А.
2	Составление и утверждение ТЗ	5	23.02.2021	28.02.2021	Солдатов А.А., Макаров Д.А.
3	Подбор и изучение материалов по теме	15	01.03.2021	16.03.2021	Солдатов А.А., Макаров Д.А.
4	Выбор направления исследований	3	17.03.2021	20.03.2021	Солдатов А.А., Макаров Д.А.
5	Календарное планирование работ по теме	4	21.03.2021	25.03.2021	Солдатов А.А., Макаров Д.А.
6	Реализация модели в среде MATLAB	30	26.03.2021	26.04.2021	Макаров Д.А.
7	Анализ результатов моделирования.	7	27.04.2021	4.05.2021	Солдатов А.А., Макаров Д.А.
8	Разработка схемы устройства	15	5.05.2021	20.05.2021	Макаров Д.А.
9	Подготовка ВКР	14	21.05.2021	04.06.2021	Макаров Д.А.
10	Проверка и корректировка ВКР	10	05.06.2021	15.06.2021	Солдатов А.А., Макаров Д.А.
Итого		109	15.02.2021	15.06.2021	

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 9 с разбивкой по 2 недели за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 9 – Календарный план-график

Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ											
			февраль		март		апрель		май		июнь			
			1-14	15-28	1-14	15-31	1-14	15-30	1-14	15-31	1-14	15-30		
Постановка целей и задач.	Солдатов А.А.	7												
Составление и утверждение ТЗ	Солдатов А.А., Макаров Д.А.	5		 										
Подбор и изучение материалов по теме	Солдатов А.А., Макаров Д.А.	15			 									
Выбор направления исследований	Солдатов А.А., Макаров Д.А.	3				 								
Календарное планирование работ по теме	Солдатов А.А., Макаров Д.А.	4				 								
Реализация модели в среде MATLAB	Макаров Д.А.	30												
Анализ результатов моделирования.	Солдатов А.А., Макаров Д.А.	7							 					
Разработка схемы устройства	Макаров Д.А.	15												
Подготовка ВКР	Макаров Д.А.	14												
Проверка и корректировка ВКР	Солдатов А.А., Макаров Д.А.	10										 		

 - Доцент – Руководитель,  - Инженер - Дипломник

4.9 Бюджет научно-технического исследования

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

4.9.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. Результаты по данной статье заносятся в таблицу 10.

Таблица 10 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Бумага	лист	150	2	345
Интернет	М/бит (пакет)	1	350	402
Ручка	шт.	2	20	46
Тетрадь	шт.	3	50	172
Электроэнергия	месяц	19	150	2 850
Итого				3 815

4.9.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Далее описаны все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме и занесены в таблицу 11.

Таблица 11 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	MATLAB	1	20000	20000
2	Модуль «DSP»	1	2000	2000
3	Altium	1	6500	6500
4	Радиодетали	1	20000	20000
Итого				48500

4.9.3 Расчет основной заработной платы

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

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (20)$$

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

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (21)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} * M}{F_{\text{д}}}, \quad (22)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года ($M=10,4$ месяца, 6-дневная рабочая неделя, при отпуске в 48 рабочих дней);

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, рабочие дни.

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Лаборант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	24
- невыходы по болезни	5	5
Действительный годовой фонд рабочего времени	218	218

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}}, \quad (23)$$

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

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

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2-0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: (15-20) % от $Z_{\text{тс}}$);

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

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) Оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор. Базовый оклад Z_6 определяется исходя из размеров окладов, определенных штатным расписанием предприятия.

2) Стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) Иные выплаты; районный коэффициент.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_6 , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн.}$, руб.
Руководитель	30000	-	-	1,3	26250	1252,29	51	94888,07
Лаборант	13000	-	-	1,3	5200	248,07	109	87880,00

4.9.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн.}, \quad (24)$$

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

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

В таблице 14 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 14 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата, руб.	94888,07	87880,00
Дополнительная зарплата, руб.	9488,81	8788,00
Итого по статье С _{зп} , руб.	201044,90	

4.9.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб.}} = k_{\text{внеб.}} (Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}}) = 0,302 \cdot 201044,90 = 60715,55 \text{ руб.}$$

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

4.9.6 Накладные расходы

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

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}}), \quad (25)$$

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

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot 99997,06 = 160835,90 \text{ руб.}$$

4.9.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по варианту руководителя приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Группировка затрат по статьям

Затраты по статьям						
Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
3815	48500	182768	18277	160836	54483	468679
4000	49000	183000	19000	161000	55000	471000

В результате расчётов было получено, что бюджет затрат НИИ составит 468679 руб.

5 Социальная ответственность

Данная работа посвящена моделированию ультразвукового эхо-сигнала. Полученная в результате модель позволяет определить требования, предъявляемые к дефектоскопам. Выявление этих требований на этапе моделирование процесса ультразвуковой дефектоскопии в различных программных пакетах значительно более выгодно, чем при испытаниях прототипов устройств, так как исключает затраты на комплектующие для них и издержки, обусловленные внесением изменений в конструкции дефектоскопов.

Результаты, проводимого исследования, могут быть использованы компаниями, применяющими ультразвуковые дефектоскопы для контроля качества продукции.

5.1 Производственная безопасность

Объектом исследования является система обработки ультразвукового сигнала. Далее в таблице приведены вредные и опасные факторы, возникающие во время работы.

Таблица 16 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Недостаточная освещённость рабочей зоны	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ; ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. СанПиН 2.2.2/2.4.2620-10 ГОСТ 12.1.006-84 СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 ГОСТ 12.2.032-78 СП 52.13330.2016 СанПиН 2.2.4.548-96
2. Повышенный уровень электромагнитного излучения		+		
3. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	
4. Умственное перенапряжение	+	+		
5. Электрический ток		+		

5.1.1 Недостаточная освещённость рабочей зоны.

Основная часть исследовательской работы будет проводиться за персональным компьютером. Помещения, в которых будет проводиться работа за компьютером должны иметь естественное и искусственное освещение. Освещенность на поверхности стола в зоне работы должна быть (300 – 500) лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк. Коэффициент пульсации не должен превышать 5 %. [СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03].

Источником света рабочей зоны, в качестве искусственного освещения, будут использоваться люминесцентные газоразрядные лампы.

Расчет освещенности рабочего места. Дано помещение с размерами: длина $A = 12$ м, ширина $B = 4$ м, высота $H = 2,5$ м. Высота рабочей поверхности $h_{рп} = 0,8$ м. Требуется создать освещенность $E = 300$ лк.

Коэффициент отражения стен $R_c = 30 \%$, потолка $R_n = 50 \%$.
 Коэффициент запаса $k = 1,5$, коэффициент неравномерности $Z = 1,1$.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения. Выбираем светильники типа ОД, $\lambda = 1,4$.

Приняв $h_c = 0,5$ м, получаем $h = H - h_c - h_{рп} = 4,5 - 0,5 - 0,8 = 1,2$ м;

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 1,2 = 1,68 \approx 1,7; \quad L/3 = 0,56 \text{ м} \approx 0,6 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 6 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м и шириной 0,266 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рис. 19). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 24$.

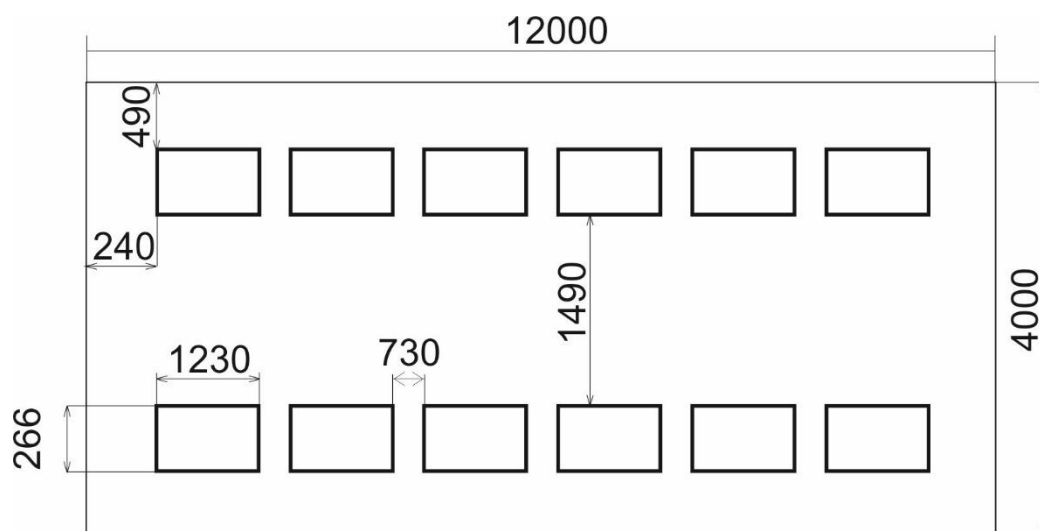


Рисунок 19 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Находим индекс помещения $i = \frac{S}{h \cdot (A+B)} = \frac{72}{2,5 \cdot (6+12)} \approx 2,5$

Коэффициент использования светового потока равен $\eta = 0,64$.

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 72 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{24 \cdot 0,64} = 2320 \text{ лм}$$

Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 40 Вт с потоком 2850 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л. стандарт}} - \Phi_{\text{л. расч}}}{\Phi_{\text{л. стандарт}}} \cdot 100\% \leq 20\%$$

Получаем $-10\% \leq 18,6\% \leq 20\%$.

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P = 24 \cdot 40 = 960 \text{ Вт.}$$

5.1.2 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Электромагнитные излучения – электрические и магнитные поля, распространяющиеся в пространстве. Степень воздействия электромагнитного излучения на человека зависит от интенсивности излучения, частоты и времени воздействия. Длительное воздействие электромагнитного поля большой интенсивности вызывает сильное стрессовое состояние, сонливость, повышенную утомляемость, головную боль, гипертонию, изменение сердечной мышцы, а также нарушения дыхательной и нервной систем.

Источниками электромагнитного излучения являются: персональный компьютер и источник питания. Согласно технической документации, электромагнитное излучение компьютера соответствует норме [СанПиН 2.2.2/2.4.2620-10].

Предельно допустимые уровни воздействия ЭМИ на человека составляют [СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96]:

- при напряженности электромагнитного поля 10 мкВт/см² – время контакта 8 час;
- при напряженности электромагнитного поля (10-100) мкВт/см² – время контакта не более 2 часов;
- при напряженности электромагнитного поля (100-1000) мкВт/см² время контакта не более 20 минут;

Предельно допустимая норма электромагнитного излучения для населения – 1 мкВт/см².

Предельно допустимые нормы электромагнитного излучения при работе за ЭВМ представлены в таблицах 17 и 18.

Таблица 17 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот (2 – 400) кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот (2 – 400) кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Таблица 18 – Электромагнитное излучение

Электромагнитное излучение	
при напряженности электромагнитного поля 10 мкВт/см ²	время контакта – 8 часов
при напряженности электромагнитного поля (10-100) мкВт/см ²	время контакта не более 2 часов
при напряженности электромагнитного поля (100-1000) мкВт/см ²	время контакта не более 20 минут
Для населения	1 мкВт/см ²

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ

- защита временем;
- защита расстоянием;
- снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике

излучения;

- экранирование источника;
- защита рабочего места от излучения;

СИЗ

Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), которые включают в себя: очки и специальную одежду, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO₂).

Экранирование источника излучения и рабочего места осуществляется специальными экранами по ГОСТ 12.4.154.

К средствам защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты, заземляющие устройства, устройства для увлажнения воздуха, антиэлектростатические покрытия и пропитки, нейтрализаторы статического электричества.

Проведение работ на электроустановках осуществляется в строгом соответствии с «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами техники безопасности и производственной санитарии в электронной промышленности». Последние учитывают особенности отрасли и специфику радиоэлектронного оборудования. Все вышеуказанные «Правила» распространяются на работы с действующими электроустановками и радиоэлектронным оборудованием.

Мероприятия по обеспечению безопасных уровней ЭМИ при работе с ПК.

Не размещать рабочие места с ПЭВМ вблизи источников электромагнитных полей (трансформаторов, мощных электропотребителей, распределительных щитов, кабельных подводов, радиопередающих устройств и др. источников ЭМП);

Перед установкой компьютерной техники обследовать помещение на наличие и интенсивность ЭМП промышленной частоты;

Заземлять массивные металлические элементы оборудования помещения (станки, стенды, оконные решетки и т.п.);

Заземлять все элементы оборудования ПЭВМ, если заземление оборудования ПЭВМ осуществляется через средство третьего заземляющего проводника сети питания - проверить наличие и качество заземления путем замера сопротивления контура заземления;

Размещать провода питания, по возможности, в экранирующих металлических оболочках или трубах;

Оборудовать, по возможности, места группового подключения ПЭВМ (2 и более пользователей) экранированными щитками питания с необходимым количеством розеток;

Не использовать удлинители (переноски) и сетевые фильтры, выполненные в виде переносок.

5.1.3 Отклонение показателей микроклимата.

Микроклимат производственного помещения измеряется при помощи заранее установленных показателей. К их числу относятся такие показатели, как:

температура воздуха;

– относительная влажность воздуха;

– скорость движения воздуха.

Температура воздуха оказывает большое влияние на самочувствие человека и производительность труда. Высокая температура воздуха в производственных помещениях при сохранении других параметров вызывает быструю утомляемость работающего, перегрев организма и большое потовыделение. Это ведет к снижению внимания, вялости и может оказаться причиной возникновения несчастного случая. Низкая температура может вызвать местное и общее охлаждение организма и стать причиной ряда простудных заболеваний — ангины, катара верхних дыхательных путей.

Влажность воздуха. Водяные пары всегда в том или ином количестве содержатся в воздухе, увлажняя его.

Оптимальной является относительная влажность (60—40) %.

В воздухе, избыточно насыщенном водяными парами, затрудняется испарение влаги с поверхности кожи и легких, что может резко ухудшить состояние и снизить работоспособность человека.

При понижении относительной влажности воздуха до 20 % у человека возникает неприятное ощущение сухости слизистых оболочек верхних дыхательных путей.

Приведем оптимальные и допустимые показатели микроклимата производственных помещений согласно [СанПиН 2.2.4.548-96].

Таблица 19 – Оптимальные нормы микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	40-60	0,1
Теплый	22-24	40-60	0,1

Таблица 20 – Допустимые нормы микроклимата

Температура, °С	Влажность, % относ.	Скорость движения воздуха, м/с
15-28	20-80	<0,5

Мероприятия по обеспечению нормативных параметров микроклимата

1. Системы местного кондиционирования воздуха.
2. Компенсация неблагоприятного воздействия одного параметра микроклимата изменением другого.
3. Спецодежда и другие средства индивидуальной защиты.
4. Помещения для отдыха и обогрева.
5. Регламентация времени работы, в частности, перерывы в работе.
6. Сокращение рабочего дня.
7. Увеличение продолжительности отпуска.

5.1.4 Умственное перенапряжение

Работы, связанные с проектированием, разработкой программного обеспечения связаны с большой нагрузкой на нервную систему.

Симптомами умственного переутомления являются: усталость, частые головные боли, нарушения сна, покраснение глаз, изменение артериального давления.

Статическая работа связана с физической нагрузкой, не требующей перемещения тела. К таким нагрузкам можно отнести длительно пребывание в сидячем положении, связанным с работой за ЭВМ. Последствиями таких перегрузок могут стать как физические, так и психологические заболевания.

Длительность работы с ЭВМ, а также длительность перерывов регламентируется [СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03]. Для предупреждения негативных последствий, рекомендуется чередовать работы с применением ЭВМ и без него. При возникновении неприятных ощущений, необходимо сделать внеплановый перерыв в работе. Поскольку работа относится к категории 3, группа В (творческая работа в режиме диалога с ЭВМ) суммарное время регламентированных перерывов должно составлять 110 минут. Поскольку характер работ, на начальном этапе, требует практически постоянного взаимодействия с ЭВМ, рекомендуется организация перерывов длительностью (10-15) мин, каждый час. Также во время перерывов необходимо применять комплексы упражнений, предотвращающий нервное утомление, утомление зрительного анализатора и опорно-двигательного аппарата.

5.1.5 Поражение электрическим током

Источниками опасности поражения электрическим током в лаборатории можно считать: офисное оборудование (МФУ, ЭВМ), источник напряжения. При работе с офисным оборудованием и паяльной станцией опасность поражения электрическим током возникает только в случае замыкания токоведущих частей на корпус прибора. По правилам электробезопасности перед работой с данным оборудованием необходимо провести визуальный осмотр изоляции на предмет повреждения. В случае нахождения неисправности прибор отключается от сети [ГОСТ 12.2.003-91]. Все приборы находятся на своих местах и имеют защитное заземление с сопротивлением не более 4 Ом [ГОСТ 12.1.030-81].

Установка должна иметь защитное заземление для защиты от статического электричества [ГОСТ 12.4.124-83]. Пол в непосредственной близости от установки должен быть покрыт резиновыми ковриками.

Все сотрудники должны проходить первичный инструктаж по электробезопасности.

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

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

2. Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

3. Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В или оборудования ниже 1000 В, но в присутствии одновременно двух или более условий повышенной опасности, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды. Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

Лаборатория имеет большое количество ПК и аппаратуры, осуществляющей работу при помощи однофазного электрического тока напряжением 220 В. Однако данная лаборатория относится к помещениям без

повышенной опасности, ввиду отсутствия таких воздействующих факторов как: высокая температура, повышенная влажность и другие

Существуют коллективные и индивидуальные средства защиты в электроустановках.

К коллективным относятся:

- защитные ограждения;
- заземление, зануление и отключение корпусов электрооборудования, которые могут быть под напряжением;
- применение безопасного напряжения (12-36) В;
- предупредительные плакаты (их принято вывешивать у опасных мест);
- автоматические воздушные выключатели.

Индивидуальные средства индивидуальной защиты от электрического тока разделяются на основные и дополнительные.

Основные — эти средства индивидуальной защиты в электроустановках выдерживают непосредственный контакт с предметами под напряжением в течение длительного времени. Поэтому их применяют при проведении электромонтажных работ без обесточивания электроустройств от сети. Также, в зависимости от напряжения в сети, выделяют два типа условий, в которых используются средства индивидуальной защиты электрика: до 1000 В и свыше 1000 В. Такая же классификация применяется и к дополнительным средствам.

Основные средства индивидуальной защиты электромонтера до 1000 В:

- диэлектрические перчатки;
- изолирующие штанги;
- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками;
- указатели напряжений.

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 21, согласно ГОСТ 12.1.038 – 82.

Таблица 21 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновений и токов

Род тока	U, В	I, А
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Безопасными номиналами считается ток $I = 0,1$ А, напряжение $U = (12-36)$ В, $R_{\text{заземления}} = 4$ Ом.

5.1.6 Пожарная безопасность помещения

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории A_n , B_n , V_n , G_n и D_n .

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В –негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причинами пожара могут быть:

- токи короткого замыкания;
- неисправность электросетей;
- незнание или небрежность обслуживающего персонала;

– курение в неположенных местах.

В связи с этим в лаборатории необходимо выполнять следующие нормы пожарной безопасности:

– работы в лаборатории проводить только при исправном состоянии оборудования, электропроводки;

– иметь средства для тушения пожара (огнетушитель);

– иметь в наличии план эвакуации людей, который должен висеть на видном месте;

– оборудование размещать так, чтобы был достаточный проход к выходу.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рис. 20).

План эвакуации из лаборатории

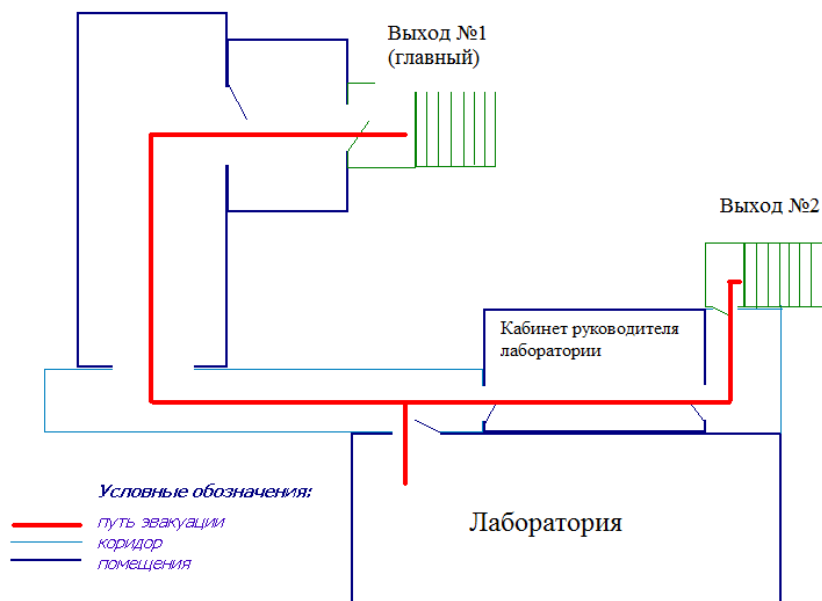


Рисунок 20 – Пути эвакуации

5.2 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через как можно более полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. С развитием промышленности вред, который может быть нанесён окружающей среде, увеличивается, поэтому задача по охране окружающей среды должна быть приоритетна для всех, без исключения, компаний.

При написании данной выпускной квалификационной работы были использованы не токсичные материалы.

Использовались листы и картриджи, которые могут загрязнять окружающую среду. Поэтому их нужно утилизировать согласно закону «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией,

вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

Обращение с люминесцентными лампами в лаборатории должен осуществлять специализированный персонал, ответственный за организацию и проведение работ по сбору, хранению и утилизации отработанных ртутьсодержащих ламп. Услуги по утилизации предоставляются на основании КОГСУ (Классификация операций сектора государственного управления) и ОКПД 90.02.140149 (Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности) Еще перед покупкой нужно уточнить, куда сдавать такие источники света по окончании срока службы или в случае повреждения колбы.

Вот два основных способа, которые применяются в компаниях по утилизации:

– Прямая переработка. В ее развитии заинтересованы многие крупные компании-продавцы вторсырья. Контейнер поступает на специальную линию — там из него удаляют остатки краски, проводят прочистку и промывку. Если нужен ремонт корпуса, его ремонтируют. В результате получается готовый к заправке расходный ресурс, нужно только закачать внутрь тонер. Некоторые самые бюджетные бренды создают свою продукцию именно так.

– Термические и механические способы уничтожения. Этот тип отходов относится к категории сортируемых. Когда он поступает на линию на заводе, тонер удаляют, разделяют корпус на отдельные части. Пластик под большим давлением крошится, а потом отправляется на переплавку. Это хорошее вторсырье, оно может послужить для изготовления мебели, упаковки и в других целях. С тонером сложнее. Чтобы он не выделял вредных веществ, нужно чтобы температура была очень высокой — до тысячи градусов. При соблюдении этого требования процесс будет полностью безопасным с экологической точки зрения.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям. В случае аварии на тепловых сетях должны быть предусмотрены запасные обогреватели (например, газовые или масляные). Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. Также сильные морозы могут вызвать аварии на электросетях, водопроводе и отсутствие на дорогах городского транспорта. Во избежание последнего следует оставлять транспорт (автобус) в теплом гараже для развозки людей в случае перебоя в транспортном сообщении. В случае отключения воды предусмотреть автономное водоснабжение, которого должно хватать минимум на сутки для исполнения всех нужд предприятия. Аналогично в энергосистемах предусмотреть запас электроэнергии автономных источников питания для функционирования жизнедеятельности предприятия на сутки для обеспечения бесперебойной работы.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, могут нанести ущерб не только предприятиям, но и здоровью людей. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и

оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

5.4 Перечень нормативно-технических документов, использованных в разделе социальная ответственность

1. ОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности.

2. ГОСТ 12.4.154-85 ССБТ. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты

3.ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ).

5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

7. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

8. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.

9. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

10. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

11. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности

12. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха.

13. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.

14. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.

15. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры

16. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение

Заключение

В ходе исследования была получена математическая модель описания акустических эхо-сигналов в гетерогенных системах. Эта модель позволяет выявить к устройству, осуществляющему контроль следующие требования: частота дискретизации, размер буфера оперативной памяти, для хранения отчётов, соотношение сигнал-шум, необходимость использования коррекции амплитуды в зависимости от расстояния.

Также было обнаружено, что в восстановленном при помощи дискретных отчётов сигнале присутствует временной сдвиг и амплитудная модуляция. Были получены графики зависимостей временного сдвига и среднего квадратичного значения разности сигналов. Согласно этим графикам чем выше частота дискретизации, тем меньше проявляется амплитудная модуляция.

После завершения исследований построенной математической модели, было спроектировано устройство для ее подтверждения.

Список используемых источников

1. Maria V. Felice, Zheng Fan. Sizing of flaws using ultrasonic bulk wave testing: A review // *Ultrasonics*. – 2018. – № 88. – pp. 26-42.
2. Peng Li. Accurate TOF measurement of ultrasonic signal echo from the liquid level based on a 2-D image processing method / Peng Li, Sai Chen, Yulei Cai, Jinli Chen // *Neurocomputing*. – 2016. – Vol. 175. – pp. 47-54.
3. Z. Lu, C. Yang. Estimating ultrasonic time-of-flight through echo signal envelope and modified gauss newton method // *Measurement*. – 2016. -№ 94.- pp. 335-363.
4. Oppenheim A. V., Schafer R. W. *Discrete-Time Signal Processing*. - third edition. – London: Pearson Education, 2010. – 1137 p.
5. Siregar R. W. Analysis Local Convergence of Gauss-Newton Method // *Mater. Sci. Eng.* – 2018.
6. Zhenkun Lu. A novel method for Estimating Time of Flight of ultrasonic echoes through short-time Fourier transforms/ Zhenkun Lu, Fuhua Ma, Cui Yang // *Ultrasonics*. – 2020. – Vol. 103.
7. Sejdic E. Time-frequency feature representation using energy concentration: An overview of recent advances / Sejdic E., Djurovic I., Jiang J // *Digital Signal Processing*. – 2009. – Vol. 19. – pp. 153–183.
8. Bo Liu. Echo energy integral based signal processing method for ultrasonic gas flow meter / Bo Liu, Ke-Jun Xu, Li-Bin Mu // *Sensors and Actuators A: Physical*. – 2018. – Vol. 277. – pp. 181-189.
9. Сергиенко А. Б. *Цифровая обработка сигналов* – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.: ил.
10. Абрамов К.Д. *Схемотехника устройств на операционных усилителях: учеб. Пособие* / К. Д. Абрамов, С. К. Абрамов – Х.: нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. – 77 с.

Приложение А
(обязательное)

Development of a device for the implementation of the model

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ92	Макаров Денис Андреевич		

Руководитель ВКР

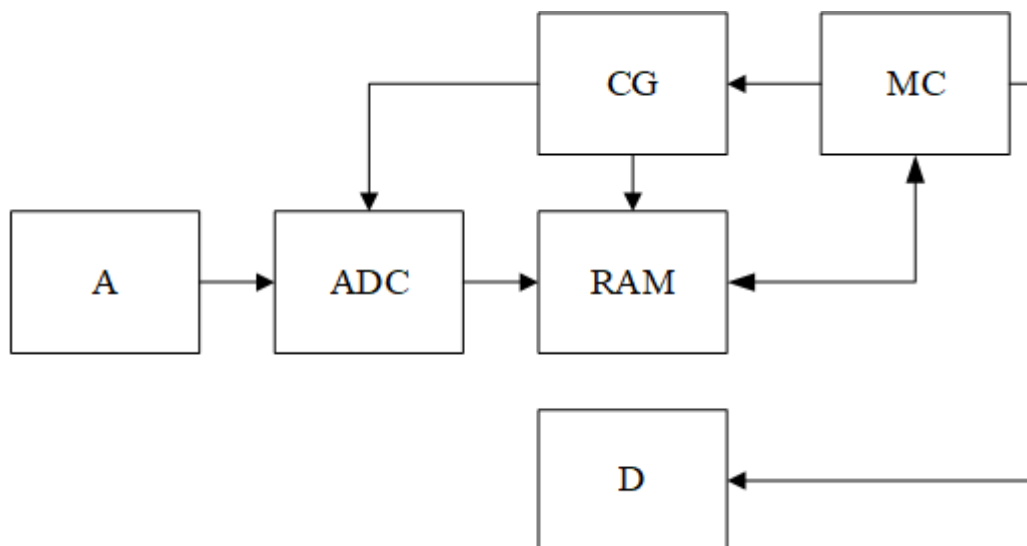
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Солдатов Андрей Алексеевич	К. Т. Н.		

Консультант – лингвист ОИЯ, ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Сидоренко Татьяна Валерьевна	К. П. Н.		

1 Development of a device for the implementation of the model

The block diagram of the device under development is shown in Figure A.1



A – amplifier, ADC – analog-to-digital converter, CG – clock generator, RAM – random access memory, D – driver, MC - microcontroller

Figure A.1 – Block diagram of the device under development

The designed device works according to the following principle. The microcontroller receives a command via the USB interface from the computer to start the measurement. The controller then starts the clock generator to clock the ADC and RAM, and sends an initiation pulse through the driver. The time of the measurement is assessed by the microcontroller using the built-in counter. After the specified time has elapsed, the controller turns the CG off, then it sends parts of the contents of the external RAM to the computer for subsequent analysis of the received data, in particular, the signal recovery from its discrete reports.

1.1 ADC calculation

The main requirement for an ADC is to provide the required sampling rate. The most common frequency of ultrasonic piezoelectric transducers is in the range from 1 to 5 MHz, so the sampling frequency of the ADC should be up to 50 MHz. It is necessary for it to have a parallel data output interface to reduce the readout time of the obtained values. The requirements for time accuracy in the A-scan are much higher than that for the amplitude value accuracy. Therefore, the resolution of the ADC is not as important as the number of samples per second. The AD9057-60 ADC is suitable for these requirements. The circuit of AD9057-60 ADC is shown in Figure A.2. The main parameters of AD9057-60 ADC are shown in Table A.1.

Table A.1 – Main parameters ADC AD9057-60

Parameter	Value
Sampling rate, MHz	60
Resolution, bit	8
Number of channels	1
Input voltage peak to peak, V	1
Analog part supply voltage, V	5
Digital part supply voltage, V	3,3

1	PWRDN	ADC	D0	20
2	VRO		D1	19
3	VRI		D2	18
6	BO		D3	17
7	AIN		D4	14
10	ENC		D5	13
			D6	12
5	VD		D7	11
8	VD			
15	VDD			
4	GND			
9	GND			
16	GND			

Figure A.2 – ADC AD9057-60 schematic

It should be noted that the input voltage swing selected by the ADC measures is 2.5 V. This fact must be taken into account when designing the amplifier.

1.2 Amplifier calculation

The amplifier is required not only to amplify the signal from the piezoelectric transducer to a swing of 1 V, but also to shift it by 2.5 V. This will be achieved by a summing amplifier implemented onto the TLV9061SQDBVRQ1 operational amplifier. The schematic is shown in the figure A.3

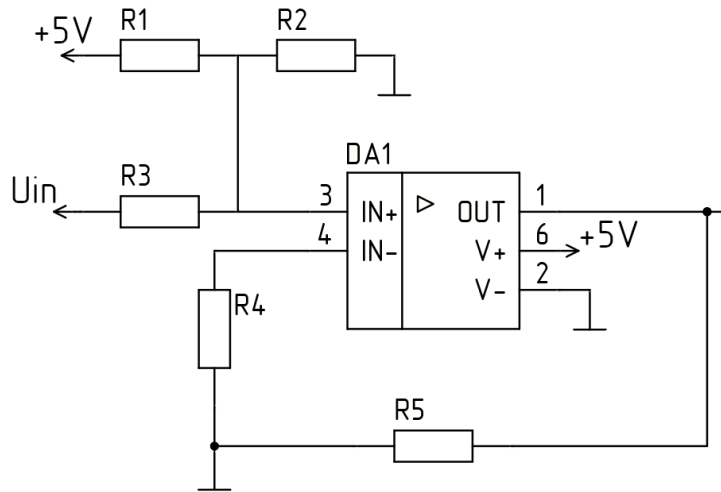


Figure A.3 – Summing amplifier schematic

Resistor values are determined by using the expression:

$$U_{out} = 5 \cdot \frac{R_2}{R_1} + U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_3}, \quad (\text{A.1})$$

where U_{in} – voltage from the piezoelectric transducer, V;

$R_1 \dots R_3$ – resistance values of resistors, Ohm.

For the correct operation of the analog non-inverting summing amplifier, the condition must be met:

$$\frac{R_5}{R_4} = \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_3}. \quad (\text{A.2})$$

Let's take the resistance of the resistor R2 equal to 510 kOhm. Then the value of the the resistor R1 will be 1.2 MOhm to provide a voltage of 2.5 V. The output signal of the piezoelectric transducer is units of mV, then in order to provide a signal swing up to 1 V, it must be amplified 100 times. From here you can determine the value of

the resistor R3 - 5.1 kOhm. Let's take the resistance of the resistor R5 equal to 1 MOhm, then to fulfill equality (A.2), we can set the resistance of the resistor R4 to 10 kOhm.

1.3 RAM calculation

Since in this case it is not required to implement access to a separate stored amplitude value, you can use a FIFO buffer. Since the selected ADC has a parallel output, it is required from the FIFO-buffer chip that the width of its data bus is not less than the width of the ADC bus. In addition, it is necessary that the memory size is sufficient for recording all received signal reports from the piezoelectric transducer. The required number of bits is defined as

$$N = f_s \cdot t_n \cdot m, \quad (\text{A.3})$$

where N – required amount of memory, bit;

f_s – sampling rate, Hz;

t_n – wave flight time, s;

m – ADC resolution, bit.

To estimate this value, let us assume that distance between the sensor and the place of reflection of the wave is 20 cm, and the wave propagates in the air. Then the required size is determined as

$$N = 5 \cdot 10^7 \cdot \frac{0,2 \cdot 2}{330} \cdot 8 = 4,77 \cdot 10^5 \text{ bits}. \quad (\text{A.4})$$

The FIFO-buffer chip IDT72V2101L10 suits these requirements, the main parameters of which are presented in Table A.2 and the schematic is shown in Figure A.3.

Table A.2 – Main parameters of the FIFO buffer IDT72V2101L10

Parameter	Value
Data bus width, bit	9
Supply voltage, V	3,3
Maximum clock frequency, MHz	100
Memory size, bits	2 359 296

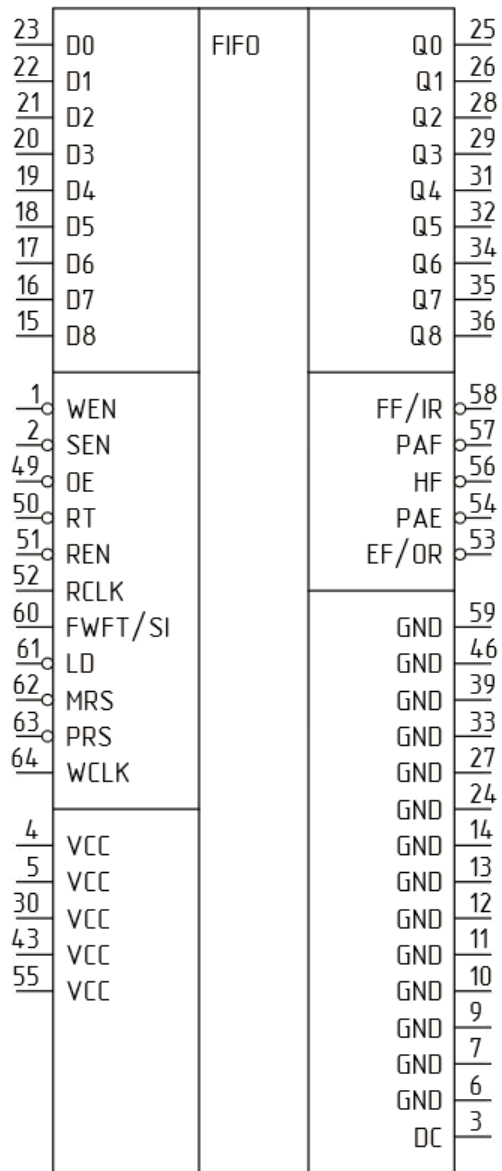


Figure A.3 – FIFO-buffer schematic IDT72V2101L10

1.4 CPG calculation

The ICS307-02 chip is used to control the frequency of the clock pulse generation going to the ADC and RAM, the schematic of which is shown in Figure A.4, in combination with a 24 MHz crystal resonator.

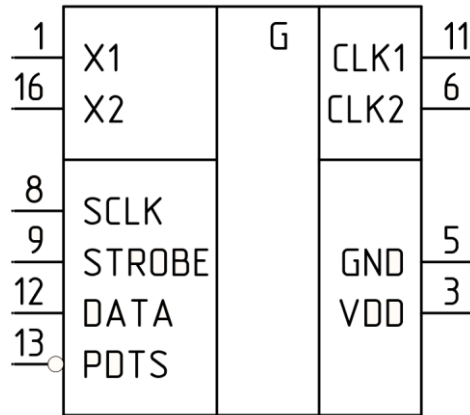


Figure A.4 – Chip ICS307-02 schematic

Due to the fact that both the ADC and FIFO-buffer are clocked on the rising edge of the clock signal, an inverter must be used to ensure that the correct data is written to memory. An MC74HC1G04 microcircuit is used as an inverter, the schematic of which is shown in Figure A.5.

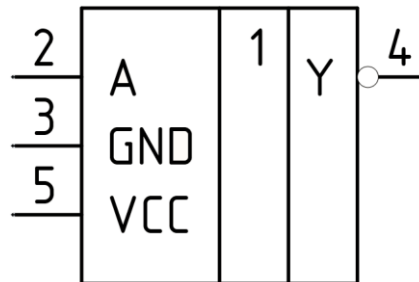


Figure A.5 – Inverter MC74HC1G04 schematic

1.5 Microcontroller selection

The STM32G474RC microcontroller is used to organize the generator and memory control, as well as to communicate with the computer. The information input-output schematic is shown in Figure A.6, the power supply pinout is shown in Figure A.7

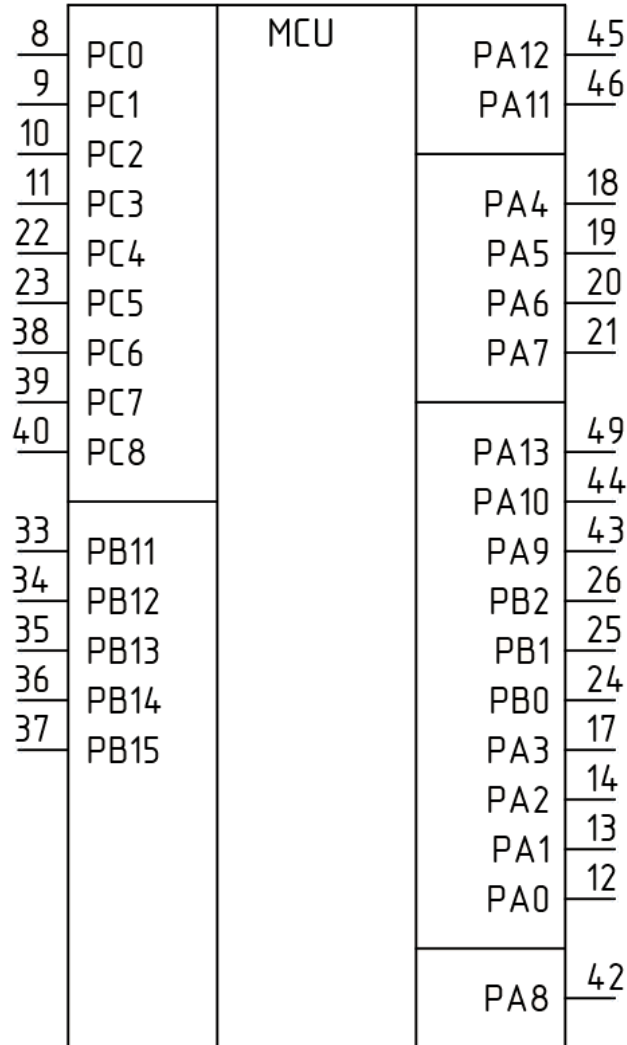


Figure A.6 – The information input-output schematic of STM32G474RC microcontroller

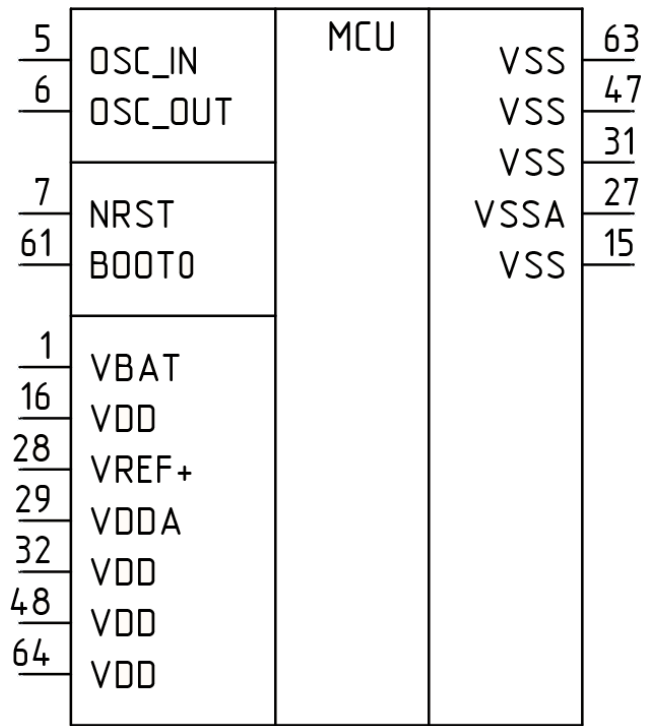


Figure A.7 – STM32G474RC microcontroller power supply pinout schematic

The generator is controlled using the SPI interface; discrete inputs and outputs is used to communicate with the memory chip. Communication with the computer is carried out via the USB interface.

1.6 Driver calculation

As the driver of the piezoelectric transducer, a typical solution is used, made on one bipolar transistor NSVS50031SB3, the parameters of which are given in the Table A.4

Table A.4 – Transistor NSVS50031SB3 main parameters

Parameter	Value
Collector-emitter voltage, V	50
Collector current, A	3
DC current gain	200
Collector to emitter saturation voltage, V	0,1

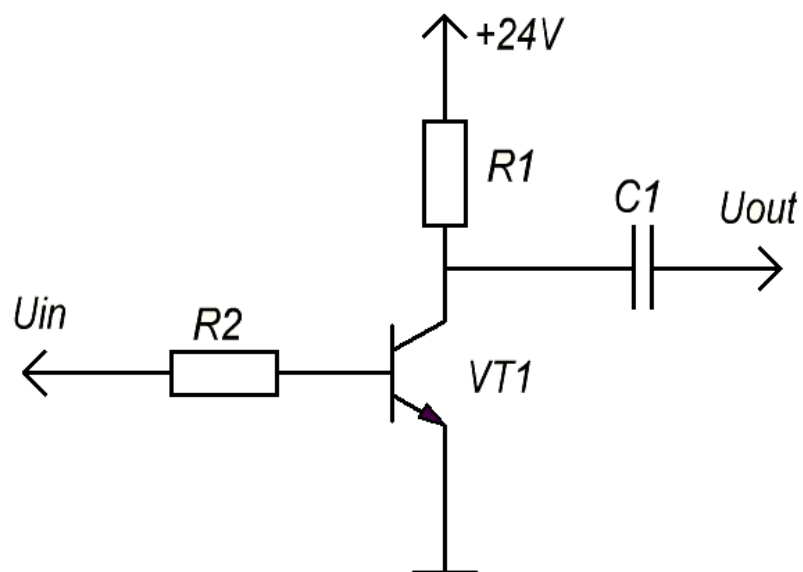


Figure A.8 – Piezoelectric transducer driver schematic

Let's take the resistance of the resistor R1 equal to 1 kOhm, then the collector current in the saturation state will be

$$I_c = \frac{E - U_{ce}}{R_1} = \frac{24 - 0,1}{1 \cdot 10^3} = 23,9 \text{ mA}, \quad (\text{A.5})$$

where I_c – collector current, A;

E – driver supply voltage, V;

U_{ce} – collector to emitter saturation voltage, V.

We take the saturation factor equal to 1.2 then the required base current will be

$$I_b = \frac{I_c \cdot \gamma}{\beta} = \frac{23,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2}{200} = 1,43 \cdot 10^{-4} \text{ A}, \quad (\text{A.6})$$

where I_b – base current of the transistor, A;

γ – saturation coefficient;

β – current gain coefficient.

Then the resistance of the resistor R2 should be no more than

$$R_2 = \frac{U_{in}}{I_b} = \frac{3,3}{1,43 \cdot 10^{-4}} = 2,3 \cdot 10^4 \text{ Ohm}, \quad (\text{A.7})$$

where U_{in} – voltage from the microcontroller output, V.

The closest value in the E24 series is 22 kOhm. The value of the capacitance of the capacitor C1 is 0.1 μ F.

Приложение Б

(обязательное)

Код программы в среде MATLAB

Функция генерирующая эхо-сигнал

```
function [S, t] = generateEchoSignal(d, sound_speed, density,  
decay_coefficient, A_init, signal_frequency, t_step, t_max, A_noise)
```

```
%Количество сред
```

```
layers_count = length(density);
```

```
%количество отраженных волн
```

```
signals_count = length(d);
```

```
%Матрица акустических сопротивлений
```

```
acoustic_impedance = zeros(layers_count,1);
```

```
for i = 1:layers_count
```

```
    acoustic_impedance(i) = density(i) * sound_speed(i);
```

```
end
```

```
%Матрицы коэффициентов отражения и поглощения
```

```
R = zeros(layers_count);
```

```
T = ones(layers_count);
```

```
%Расчёт значений элементов матриц коэффициентов отражений и  
поглощений
```

```
for i = 1:layers_count
```

```
    for j = 1:layers_count
```

```
        R(i,j) = (acoustic_impedance(i) -
```

```
acoustic_impedance(j))/(acoustic_impedance(i) + acoustic_impedance(j));
```

```

        T(i,j) = 1 - abs(R(i,j));
    end
end

% амплитуда отраженной волны
reflected_A = zeros(signals_count, 1);
% амплитуда падающей волны
forward_A = zeros(layers_count, 1);

% Амплитуда волны, испускаемой излучателем
forward_A(1) = A_init;
% Амплитуда падающей волны на границу раздела сред 1-2
forward_A(2) = forward_A(1) * exp(-decay_coefficient(1)*d(1));

for i = 3:layers_count
    forward_A(i) = forward_A(i-1) * T(i - 1, i)* exp(-decay_coefficient(i-1)*d(i-
1));
    %падающая из предыдущей среды, коэффициент прохождения между
средами, коэффициент затухания
end

% Расчёт амплитуды отраженной волны
reflected_A(1) = forward_A(2) * R(1,2) * exp(-decay_coefficient(1)*d(1));
for i = 2:signals_count
    % Суммарный коэффициент поглощения
    decay_sum = 1;
    % Суммарный коэффициент прохождения для отраженной волны
    T_mul = 1;
    for j = i:1
        decay_sum = decay_sum + decay_coefficient(j) * d(j);

```

```

        T_mul = T_mul * T(j+1, j);
    end
    reflected_A(i) = forward_A(i) * abs(R(i, i+1)) * exp(-decay_sum) * T_mul;
end

% Время полёта волны
time_of_flight = zeros(signals_count, 1);

for i = 1:signals_count
    for j = 1:i
        time_of_flight(i) = time_of_flight(i) + 2 * d(j)/sound_speed(j);
    end
end

% Расчёт формы эхо-сигнала
b = 15;
t = 0:t_step:t_max;
u = zeros(signals_count, length(t));
s = zeros(signals_count, length(t));
S = zeros(1, length(t));
for i = 1:signals_count
    % Расчёт огибающей
    u(i,:) = reflected_A(i) * exp(-b * power(t - time_of_flight(i), 2));
    % Расчёт формы волны отражённой от каждой из сред
    s(i,:) = u(i,:).*(cos(2*pi*signal_frequency*(t - time_of_flight(i))));
    % Форма эхо-сигнала
    S = S + s(i,:);
end

% Добавление шума
if A_noise > 0

```

```

    rng('default');
    r = rand(1, length(S)) - 0.5;
    S = S + r * A_noise;
end
end

```

Функция, выполняющая дискретизацию сигнала

```

function [discrete_signal] = signalSampling(signal, t, f, sample_ratio)

% период дискретизации
period_sample = 1 / (sample_ratio * f);

% Шаг на временной шкале исходного сигнала
t_step_half = (t(2) - t(1)) / 2.0;

% Совокупность отчётов
discrete_signal = [];

counter = 0;
for i = 1:length(t)
    % Определение положения отчета на временной шкале
    if (t(i) >= period_sample * counter - t_step_half) && (t(i) <=
period_sample * counter + t_step_half)
        counter = counter + 1;
        discrete_signal = [discrete_signal, signal(i)];
    end
end
end
end

```

```

Функция, восстанавливающая сигнал по его дискретным отчётам
function reconstructed_signal = signalReconstructionK(discrete_signal,
period_sample, t)

% Инициализация массива, содержащего восстановленный сигнал
reconstructed_signal = zeros(1, length(t));

value = 0;

% Реализация интерполяционной формулы Шеннона
for i = 1:length(t)
    value = 0;

    for j = 1:length(discrete_signal)
        value = value + discrete_signal(j) * sinc((t(i)/period_sample - j));
    end

    reconstructed_signal(i) = value;
end
end
end

```

Функция вычисления и устранения временного сдвига

```
function [shifted_signal, time_shift] = removeOffset(original_signal,
recon_signal, t)
    % Инициализация сдвинутого сигнала
    shifted_signal = zeros(1, length(original_signal));

    % Определение положения локальных максимумов в сигналах
    [original_peaks, original_peaks_locs] = findpeaks(original_signal, t);
    [recon_peaks, recon_peaks_locs] = findpeaks(recon_signal, t);

    temp = find(recon_peaks_locs > original_peaks_locs(1));
    recon_peak_loc = recon_peaks_locs(temp(1));

    % Расчёт временного сдвига для восстановленного сигнала
    time_shift = recon_peak_loc - original_peaks_locs(1);

    % Количество отсчетов, на которое необходимо сдвинуть
восстановленный сигнал
    offset_samples_count = int16(time_shift / (t(2) - t(1)));

    temp = length(recon_signal) - offset_samples_count;

    % Расчёт сдвинутого восстановленного сигнала
    for i=1:temp
        shifted_signal(i) = recon_signal(i + offset_samples_count);
    end
end
```

Функция для оценивания амплитудной модуляции

```
function deviation = calculateDeviation(original_signal, recon_signal)
    %Инициализация значения суммы
    sum_val = 0;

    %Расчёт значения суммы
    for i=1:length(original_signal)
        sum_val = sum_val + (recon_signal(i) - original_signal(i))^2;
    end

    %Расчёт значения отклонения
    deviation = (sum_val / length(original_signal))^0.5;
end
```

Программа для вычисления зависимости проявления амплитудной модуляции и величины сдвига от соотношения частоты дискретизации к частоте сигнала

```
% Плотность сред
density = [5; 7; 9; 5];

% Скорость звука в средах
sound_speed = [1; 2; 3; 1];

% Толщина
d = [2; 2; 2];

% Коэффициент затухания
alpha = [0.1; 0.2; 0.1];

% Частота сигнала
f_signal = 5;
```



```

% Построение исходного сигнала
[S_origin, t] = generateEchoSignal(d, sound_speed, density, alpha, 5, f_signal,
0.005, 10, 0.05);

% Инициализация значений отношения частот
sample_ratio = 2.1:0.1:10;

% Инициализация массива среднего значения отклонения
deviation = zeros(1, length(sample_ratio));

% Инициализация массива временного сдвига
time_offset = zeros(1, length(sample_ratio));

% Вычисление значений временного сдвига и среднего значения
отклонения
for i = 1:length(sample_ratio)
    S_sampled = signalSampling(S_origin, t, f_signal, sample_ratio(i));

    S_recon = signalReconstructionK(S_sampled, 1/(f_signal * sample_ratio(i)),
t);

    [S_recon_shifted, time_offset(i)] = removeOffset(S_origin, S_recon, t);

    deviation(i) = calculateDeviation(S_origin, S_recon_shifted);
end

% Построение графиков
tiledlayout(1,2)

```

```
nexttile
```

```
plot(sample_ratio, time_offset)
```

```
title('Time offset')
```

```
nexttile
```

```
plot(sample_ratio, deviation)
```

```
title('Deviation')
```

Приложение В

(обязательное)

Ультразвуковой дальномер

Схема электрическая принципиальная

Перв. примен.

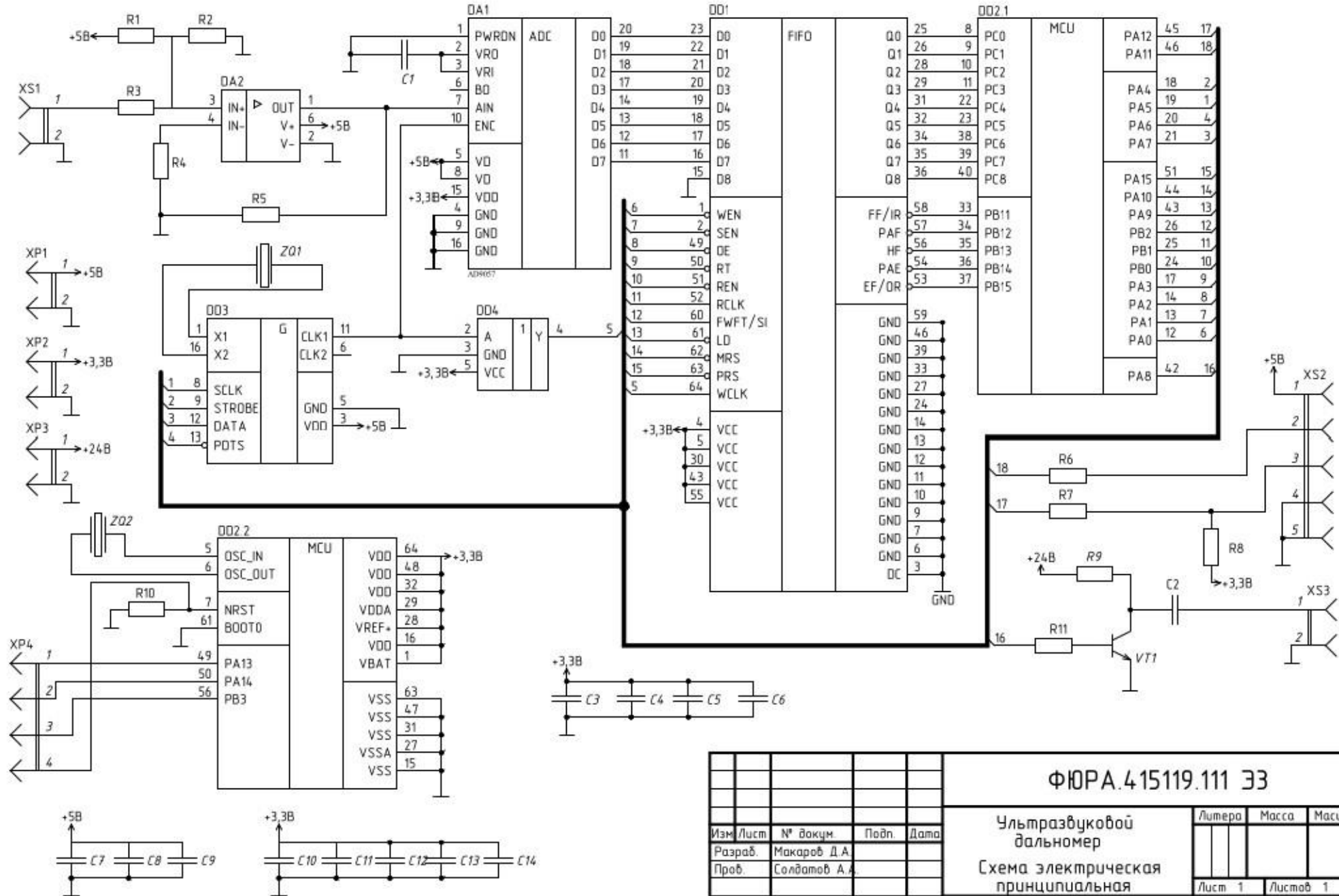
Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата



ФЮРА.415119.111 ЭЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Макаров Д.А.		
Проб.		Солдатов А.А.		
Н.контр.		Наталинова И.М.		
Утв.		Солдатов А.А.		

Ультразвуковой
дальномер
Схема электрическая
принципиальная

Литера	Масса	Масштаб
Лист 1	Листов 1	
ТПУ ИШНКБ ОЗИ зр. 1АМ92		

Приложение Г
(обязательное)
Ультразвуковой дальномер
Перечень элементов

Поз. обознач.	Наименование	Кол.	Примечание
	<i>Конденсаторы</i>		
C1	0,1 мкФ ±10%- 6,3 В-Х7R-0805	1	
C2	0,1 мкФ ±10%- 6,3 В-Х7R-0805	1	
C3-C14	0,1 мкФ ±10%- 6,3 В-Х7R-0805	12	
	<i>Кварцевые резонаторы</i>		
ZQ1, ZQ2	24 МГц - S6035	2	
	<i>Микросхемы</i>		
DA1	AD9057-60	1	
DA2	TLV9061SQDBVRQ1	1	
DD1	IDT72V2101L 10	1	
DD2	ICS307-02	1	
DD3	STM32G474RC	1	
DD4	МС74НС1G04	1	
	<i>Разъемы</i>		
XP1-XP3	ht5.08 - 2pin	3	
XP4	ISP6	1	
XS1, XS3	xh2.54 - 2pin	2	
XS2	PN61729-S	1	

ФЮРА.415119.001 ПЭ								
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Ультразвуковой дальномер Перечень элементов	Лит	Масса	Масштаб
Разраб.		Макаров Д. А.				У		
Провер.		Солдатов А. А.						
						Лист 1	Листов 2	
Н. контр.		Наталинова Н. М.						
Утверд.		Солдатов А. И.						

Поз. обознач.	Наименование	Кол.	Примечание
	<i>Резисторы Р1-12</i>		
	<i>АБШЖ.434.110.023 ТУ</i>		
<i>R1</i>	<i>0,125 - 1,2 МОм ±10%</i>	<i>1</i>	
<i>R2</i>	<i>0,125 - 510 кОм ± 10%</i>	<i>1</i>	
<i>R3</i>	<i>0,125 - 5,1 кОм ± 10%</i>	<i>1</i>	
<i>R4</i>	<i>0,125 - 10 кОм ± 10%</i>	<i>1</i>	
<i>R5</i>	<i>0,125 - 1 МОм ± 10%</i>	<i>1</i>	
<i>R6-R7</i>	<i>0,125 - 22 Ом ± 10%</i>	<i>2</i>	
<i>R8</i>	<i>0,125 - 100 кОм ± 10%</i>	<i>1</i>	
<i>R9</i>	<i>1 - 1 кОм ± 10%</i>	<i>1</i>	
<i>R10</i>	<i>0,25 - 22 кОм ± 10%</i>	<i>1</i>	
<i>R11</i>	<i>0,125 - 10 кОм ± 10%</i>	<i>1</i>	
	<i>ФЮРА.4.15119.001 ПЭ</i>		Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись Дата
			2