

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

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
Кафедра промышленной и медицинской электроники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Измеритель толщины льда

УДК 620.179.14:551.328

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1AM41	Журавлев Александр Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пестунов Дмитрий Александрович	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. каф.менеджмента	Чистякова Наталья Олеговна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ ИНК	Анищенко Юлия Владимировна	К.Т.Н.		

По техническому разделу

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ПМЭ	Торгаев Станислав Николаевич	к.ф.-м.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н.		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть
Профессиональные компетенции	
P1	Использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры; понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; демонстрировать навыки работы в научном коллективе. порождать новые идеи
P2	Анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников; определять цели, осуществлять постановку задач проектирования приборов нанoeлектроники, схем и устройств различного функционального назначения с использованием современной элементной базы нанoeлектроники, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ
P3	Формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.
P4	Осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно- измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени; разрабатывать физические и математические модели элементов нанoeлектроники, компьютерное моделирование исследуемых физических процессов, приборов, схем и устройств, относящихся к профессиональной сфере
P5	Делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научно-технические отчеты, обзоры, рефераты, публикации по результатам выполненных исследований, доклады на научные конференции и семинары, научные публикации в центральных изданиях и заявки на изобретения

P6	Работать в качестве преподавателя в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования по учебным дисциплинам предметной области данного направления под руководством профессора, доцента или старшего преподавателя
Универсальные компетенции	
P7	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень. Самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности
P8	Использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов. Участвовать в проведении технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта
P9	Разрабатывать планы и программы инновационной деятельности в подразделении, проявлять инициативу, в том числе в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности
P10	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов
P11	Обладать способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности

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

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
 Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой Губарев Ф.А.

 (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
1АМ41	Журавлеву Александру Евгеньевичу

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 2819/с от 06.05.2015 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является измеритель толщины льда.</p> <p>Стоит задача в создании регистрирующей аппаратуры, способной регистрировать: момент образования и схода ледового покрова в прибрежной зоне; величину его прироста; вертикальные перемещения.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов,</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Литературный обзор • Разработка структурной схемы измерителя толщины льда • Разработка принципиальной схемы измерителя толщины льда • Макетирование и отладка устройства. <p>Проведение экспериментов (в лабораторных и натуральных условиях)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Заключение по работе

<i>подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
--	--

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	нет
---	-----

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
---	--

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и реурсосбережение	Чистякова Наталья Олеговна
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Технический	Торгаев Станислав Николаевич
Иностранный язык	Мыльникова Татьяна Степановна

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

Разработка структурной и принципиальной схем измерителя толщины льда
--

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пестунов Дмитрий Александрович	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ41	Журавлев Александр Евгеньевич		

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

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
 Уровень образования магистратура
 Кафедра промышленной и медицинской электроники
 Период выполнения _____ осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация <small>(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)</small>

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
13.09.15	<i>Обзор литературы по теме исследования</i>	5
03.10.15	<i>Разработка структурной схемы измерителя толщины льда</i>	5
26.10.14	<i>Разработка принципиальной схемы измерителя толщины льда</i>	15
25.11.15	<i>Проведение экспериментов в лабораторных условиях</i>	10
11.12.15	<i>Доработка измерителя толщины льда</i>	10
22.01.15	<i>Проведение экспериментов в реальных условиях</i>	10
12.03.16	<i>Финальная доработка измерителя толщины льда</i>	15
01.05.16	<i>Анализ экспериментальных данных</i>	15
05.06.16	<i>Оформление расчетно-пояснительной записки</i>	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Пестунов Дмитрий Александрович	К.Т.Н		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 113 с., 22 рис., 18 табл., 12 источников, 3 прил.

Ключевые слова: измеритель толщины льда, фазовый метод, эхо-импульс, ультразвук, скорость нарастания льда.

В процессе исследования проводились: аналитический обзор литературных источников, исследование методов измерения толщины льда, а так же методов измерения скорости распространения звука, разработка программного кода для системы управления, разработка макета измерителя толщины льда, тестирование и отладка изготовленного макета устройства, анализ полученных данных, анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения, социальная ответственность.

В результате исследования был разработан измеритель скорости нарастания льда, соответствующий техническому заданию. Так же была реализована автоматическая подстройка частоты генерируемых импульсов.

Степень внедрения: исследование гидрологических процессов.

Область применения: научно-исследовательские организации и предприятия, области интересов которых, затрагивают исследование гидрологических процессов в прибрежной зоне водоемов.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 18353-79 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов»
2. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»
3. СанПиН 2.2.2/2.4.2620-10 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
4. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ «Оборудование производственное. Общие требования безопасности».
5. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация»
6. СП 52.13330.2011 «Свод правил. Естественное и искусственное освещение»
7. ГОСТ 12.2.032-78. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»
8. ГОСТ 12.1.001-89 ССБТ «Ультразвук. Общие требования безопасности»

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

«Обозначения и сокращения»:

МК – микроконтроллер;

УЗ – ультразвук;

ВИП – вспомогательный источник питания;

ПК – персональный компьютер

Оглавление

Введение	11
Глава 1. Обзор литературы	15
1.1 Методы измерения толщины ледяного покрова	15
1.2 Методы измерения времени распространения звука	18
1.3 Источники ультразвуковых колебаний.....	19
1.4 Ультразвуковые пьезоэлектрические преобразователи	24
1.5 Микроконтроллер STM32F4	27
Глава 2. Разработка структурной и принципиальной схем измерителя толщины льда	31
2.1. Принцип работы толщиномера льда.....	31
2.2. Выбор и обоснование структурной схемы.....	34
2.3. Выбор и обоснование принципиальной схемы	35
2.3.1 Схема излучателя ультразвукового сигнала.....	35
2.3.2. Вспомогательный источник питания	38
2.3.3. Схема приемника ультразвукового сигнала	42
2.3.4. Система управления	45
Глава 3. Разработка алгоритма работы микроконтроллера	47
3.1. Генератор импульсов.....	47
3.2. Автоматическая подстройка частоты.....	48
3.3. Измерение скорости нарастания льда.....	49
Глава 4. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	52
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.	52
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.	52
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	53
4.1.3.SWOT – анализ	55
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.	58
4.2.Инициация проекта.	60
4.2.1. Цели и результат проекта.	60
4.2.2. Цели и результат проекта.	61
4.3. Планирование управления научно-техническим проектом	63
4.3.1. План проекта.....	63
4.3.2. Бюджет НИИ.....	66
4.3.2.1. Сырье, материалы, покупные изделия.....	66
4.3.2.2. Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	66
4.3.2.3. Основная заработная плата	67
4.3.2.4. Дополнительная заработная плата персонала	69
4.3.2.5. Отчисления на социальные нужды	70

4.3.2.6. Научные и производственные командировки	70
4.3.2.7. Накладные расходы	71
4.3.3. Реестр рисков проекта	71
4.4. Оценка сравнительной эффективности исследования	71
Глава 5. Социальная ответственность	75
5.1 Производственная безопасность	75
5.1.1 Электробезопасность	76
5.1.2 Термическое травмирование	77
5.1.3 Электромагнитное излучение (ЭМИ).	77
5.1.4 Освещенность рабочей зоны	79
5.1.5 Умственное перенапряжение. Статические перегрузки.	80
5.1.6 Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования	81
5.1.7 Повышенный уровень ультразвука	83
5.2 Охрана окружающей среды	85
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	85
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	87
5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.	87
5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	88
Заключение	90
Список публикаций	91
Перечень использованных источников	92
Приложение П	94
Приложение 1	109
Приложение 2	111

Введение

Актуальность работы

При изучении углеродного цикла во внутренних водоемах в зимний период была замечена связь между эмиссией метана и углекислого газа из озера в атмосферу с образованием и вертикальными перемещениями ледового покрова. Вероятно, ледообразование, которое изменяет химический состав воды у нижней стенки, а также то, что при шевелении льда в его структуре образуются поры, сказывается на газообмене между озером и атмосферой.

Для задач, стоящих перед исследователями гидрологических процессов в прибрежной зоне водоемов требуется учитывать состояние ледового покрова, в том числе и детерминирование моментов образования и схода ледового покрова. Были замечены изменения в устоявшихся суточных и сезонных биологических и физико-химических ритмах в озерах при подвижках льда, которые, по сути, являются спонтанными явлениями. Однако до настоящего времени не существовало возможности зарегистрировать и описать колебания ледового слоя.

Цель работы

Целью работы является создание регистрирующей аппаратуры, способной регистрировать: момент образования и схода ледового покрова; величину его прироста; вертикальные перемещения.

Для реализации поставленной задачи целесообразно применить метод УЗ эхозондирования, при этом зафиксировать УЗ излучатель и приемник регистрирующей аппаратуры на дне водоема, направив их вверх к границе раздела "вода-лед". Преимущества такого подхода заключаются в следующем:

1. Прибор может находиться на дне круглый год, в отличие от установки прибора на поверхности льда, когда прибор можно установить только на установившийся и окрепший лед.

2. При поверхностной установке прибор от нагрева вытапливает под собой часть льда и находится частично в воде. В данном случае, передатчик плохо передаёт энергию ультразвукового сигнала в лед.

3. Так же, измерение расстояния от дна водоема до нижней границы льда позволяет исключить погрешности из-за искажений и переотражений, связанных с сильным температурным градиентом и дефектами(пустоты, трещины) по толщине льда.

Недостатком является возникающая необходимость герметичного исполнения конструкции, способной выдерживать соответствующие давления. В нашем случае глубина установки не превышает 5 метров, т.е. превышение давления составит около 0.5 атм. В этом случае, герметизации электронной части можно добиться, не прибегая к дорогостоящим технологиям и материалам.

Научная новизна

Впервые разработан прибор, способный регистрировать моменты становления и схода ледового покрова, при этом измерять колебания ледового слоя, выделяя прирост льда и вертикальные перемещения.

Апробация результатов работы

Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на конференции *«Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность”*».

Структура и краткое содержание работ

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка

литературы, состоящего из 12 ссылок.

Во введении обсуждается актуальность работы, сформулирована цель, задачи исследования. Отмечаются научная новизна и практическая значимость, приводится краткое содержание работ.

В первой главе проведен литературный обзор по теме исследования. Кратко рассматриваются методы измерения толщины льда. Проведен обзор традиционных методов измерения времени распространения звука, а так же были рассмотрены источники ультразвуковых колебаний, в частности ультразвуковые пьезоэлектрические преобразователи.

Во второй главе описывается применяемый мной подход измерения, который удовлетворяет поставленным требованиям, приводится структурная схема и компонентный состав устройства. Здесь же представлены схематические решения составных узлов устройства с выбором и расчетом элементной базы, которые применены и испытаны во время макетирования.

В третьей главе обсуждаются распределения программно-аналитических задач между вычислительными системами, а именно задачи съема, пересчета, фильтрации, переработки и сохранения данных. Приведен алгоритм работы всех вычислительных узлов устройства.

В четвертой главе проводится анализ значимости работы, оценка коммерческого и инновационного потенциала разработки, разрабатывается план проекта и расчет бюджета научного исследования, оценивается сравнительная эффективность исследований.

В пятой главе проводится анализ решений по теме диссертации на предмет возникновения вредных и опасных проявлений факторов производственной среды, предложены средства защиты. При анализе было обнаружено, что прибор не оказывает негативное влияние на

окружающую среду. Приводятся меры по предупреждению наиболее типичной чрезвычайной ситуации.

В заключении сформулированы основные выводы работы.

Глава 1. Обзор литературы

1.1 Методы измерения толщины ледяного покрова

Проблема мониторинга толщины ледяного покрова является весьма актуальной с точки зрения обеспечения безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений в замерзающих акваториях в условиях воздействия на них ледовых образований; обеспечения плавания судов во льда решения задач взаимодействия атмосферы и водоема при наличии ледяного покрова. Дистанционные методы измерения позволяют решить эту проблему. Среди используемых дистанционных технических средств и способов определения толщины ледяного покрова можно отметить следующие.

1.1.1 Средства наблюдения в видимом диапазоне электромагнитного спектра частот

Средства наблюдения в видимом диапазоне электромагнитного спектра частот позволяют по спутниковым снимкам определить возрастные градации льда при условии светлого времени суток и отсутствия облачности, если размеры льда значительно превосходят размеры элементарных площадок изображения[1]. Так же к недостаткам метода можно отнести то, что точность определения толщины льда зависит от субъективной оценки эксперта-дешифровщика.

1.1.2 Средства наблюдения в СВЧ-диапазоне частот

Средства наблюдения в СВЧ-диапазоне частот, регистрирующие тепловое излучение ледяного покрова в диапазоне волн 1 мм- 40 см, позволяют определить толщину льда от 30 см. Однако, это возможно только в том случае, если однородные участки ледяного покрова больше локальной разрешающей способности радиометров.

1.1.3 Средства радиолокационного зондирования

Средства радиолокационного зондирования измеряют энергию отраженного радиолокационного сигнала, определяемую отражательной способностью объектов или эффективной площадью рассеяния. Данный метод позволяет определять толщину льда от 10-250 см. Точность измерений зависит от комплексной диэлектрической проницаемости льда, рельефа, поверхности и ее влажности, а так же от параметров аппаратуры наблюдения – длины волны и поляризации излучаемого и принимаемого сигнала[1].

1.1.4 Средства инфракрасного зондирования

Средства инфракрасного зондирования в тепловом канале измеряют собственное тепловое излучение ледяного покрова в максимуме этого излучения при естественных для земных покровов значениях температуры воздуха. Собственное тепловое излучение определяется его радиационной температурой, очень близкой к фактической поверхностной температуре. Поскольку ледяной покров акваторий является промежуточным слоем между водой при температуре замерзания и атмосферой, то по разности температуры поверхностей можно рассчитать толщину льда. Диапазон измерения 60-100 см. Однако, недостатком метода является трудоемкие и экономически неоправданные вычисления, а так же сложность математической интерпретации.

1.1.5. Метод оптического измерения

Лазеры могут быть использованы при различных бесконтактных способах измерения расстояний или смещений. С помощью лазеров осуществляются наиболее точные измерения длин и расстояний. Лазерные системы имеют очень большую скорость получения данных (с пропускной способностью до нескольких мегагерц), используются для больших диапазонов измерений, хотя эти качества, как правило, не объединены одним способом измерения. Лазерное излучение обладает

гораздо меньшей длиной волны, что позволяет направить узкий сканирующий пучок и, таким образом, достичь более высокого пространственного разрешения. Лазерное излучение обладает гораздо меньшей длиной волны, что позволяет направить узкий сканирующий пучок и, таким образом, достичь более высокого пространственного разрешения. Однако, при измерении может присутствовать лазерный шум. Другие, связанные с шумом проблемы могут возникнуть в результате шума детектирования, рассеивания света. Цели могут обладать различными свойствами отражения и рассеяния. Проблемы могут возникнуть из-за очень низкого отражения или из-за зеркального отражения.

1.1.6. Метод ультразвукового измерения

Для измерения толщины при одностороннем доступе к объекту контроля широко используются ультразвуковые средства. Первые толщиномеры, в основу работы которых был положен принцип эхолокации, промышленность начала выпускать в конце 40-х годов XX века. В 70-е годы широкое распространение получили небольшие переносные приборы, предназначенные для различных областей применения. В настоящее время развитие микропроцессорных технологий привело к созданию нового поколения миниатюрных ультразвуковых толщиномеров, которые имеют очень сложное устройство, но просты в эксплуатации.

Принцип работы ультразвуковых толщиномеров заключается в измерении времени прохождения ультразвукового импульса высокой частоты через материал объекта контроля. Нижняя частота таких ультразвуковых импульсов начинается от 20 кГц, которая является верхним пределом слышимости человеческого уха. Эти высокочастотные импульсы генерируются и принимаются устройством, называемым ультразвуковым преобразователем, который преобразует электрическую энергию в механические колебания и наоборот.

Измерение толщины отягощается наличием паразитного эхо-сигнала, обусловленного наличием препятствий на пути контролируемого объекта.

1.2 Методы измерения времени распространения звука

Скорость звука экспериментально может быть определена различными методами. Среди основных методов можно выделить метод стоячих волн (или метод резонанса), метод фиксации времени прихода сигнала, метод аппроксимации огибающей сигнала.

Наиболее широко для измерения времени распространения сигнала используется метод фиксации времени прихода сигнала. Для этого используется компаратор, который формирует прямоугольный импульс, передний фронт которого регистрирует момент прихода акустического сигнала. Данный метод можно считать точным, когда амплитуда и форма сигнала остаются неизменными, однако на практике амплитуда сигнала колеблется за счет неоднородностей в среде, поэтому погрешность измерения времени распространения сигнала в среде остается непостоянной и учесть ее невозможно. При использовании систем АРУ (автоматическая регулировка усиления) можно поддерживать амплитуду постоянной, но при изменении формы сигнала АРУ и компаратор не решают проблему точности определения момента прихода сигнала[3].

Существенно повысить точность измерений можно с помощью метода двух компараторов с отличающимся порогом срабатывания[2]. Срабатывание первого (U_1) и второго (U_2) компараторов происходит в разные моменты времени (t_1 и t_2 , соответственно). Построение прямой по координатам этих точек позволяет найти время начала эхо-импульса и с помощью математических расчетов определить относительную ошибку[12]. Чем круче огибающая переднего фронта, тем меньше ошибка в определении эхо-импульса. С увеличением разницы в установлении порогов компараторов

уменьшается ошибка в определении эхо-импульса. Максимальная ошибка получается при срабатывании компараторов в один момент времени.

Метод аппроксимации огибающей сигнала позволяет повысить точность измерений. Способ базируется на аппроксимации нарастающей части огибающей акустического импульса двумя полиномами второй степени – для положительных и отрицательных экстремумов в разных периодах несущей частоты акустического импульса[3]. В отличие от метода определения момента прихода импульса с помощью компаратора с фиксированным порогом срабатывания, предлагаемый метод теоретически обеспечивает нулевую ошибку при любых линейных вариациях амплитуды сигнала. Данный метод позволил уменьшить погрешность измерения в четыре раза по сравнению с традиционным способом[2].

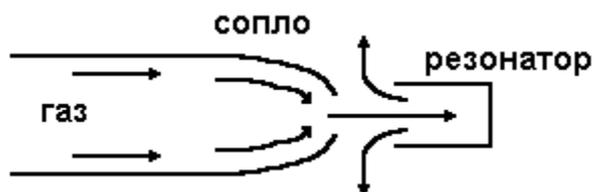
1.3 Источники ультразвуковых колебаний

УЗ преобразователь - это устройство, обеспечивающее преобразование подводимой энергии какого либо вида в энергию УЗ колебаний.

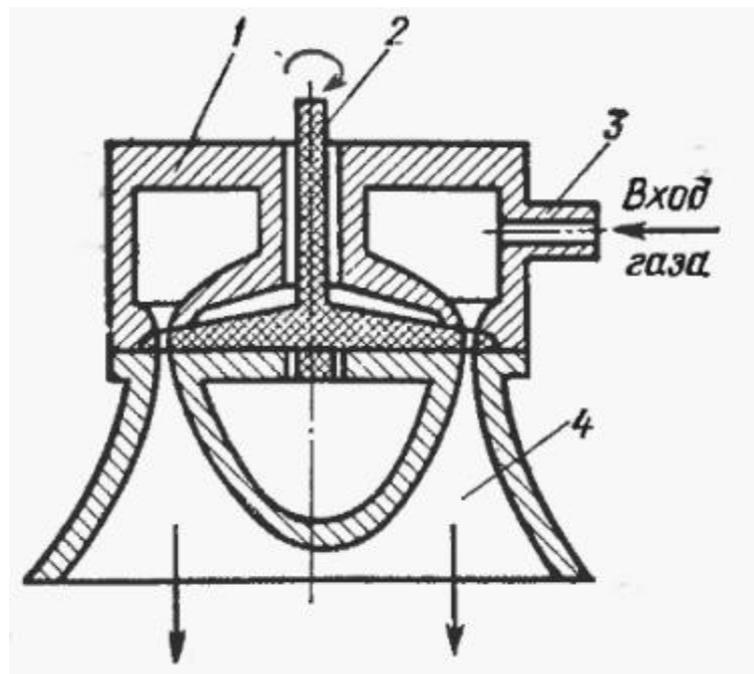
1.3.1 Аэродинамические преобразователи

Аэродинамические преобразователи обеспечивают преобразование энергии потока газа в ультразвуковые колебания газовой среды. По характеру преобразования энергии потока газа аэродинамические преобразователи делятся на[4]:

- а) статические сирены или газоструйные излучатели;
- б) динамические сирены.



а – Статическая сирена;



б – Динамическая сирена;

Рисунок 1.1 – Аэродинамические преобразователи

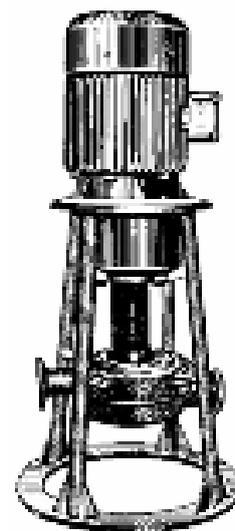
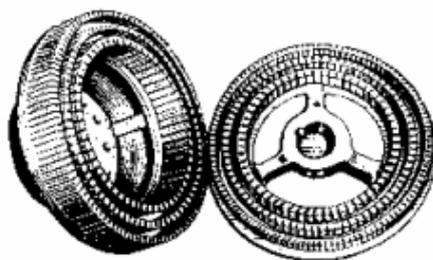
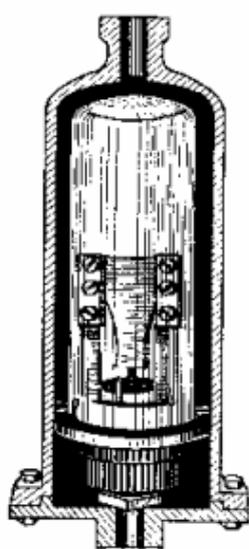
Газоструйные излучатели - это генераторы звуковых и ультразвуковых колебаний, не имеющие движущихся частей, источником энергии служит кинетическая энергия движения газовой струи. Динамические сирены представляют собой газоструйные излучатели с возможностью периодического открывания и закрывания отверстий резонаторов за счет вращения роторного устройства[4]. Аэродинамические преобразователи обеспечивают возбуждение УЗ колебаний в газовых средах и могут быть использованы для ускорения процессов в газовых средах. Рабочие частоты аэродинамических преобразователей не превышают 20... 50 кГц.

1.3.2 Гидродинамические излучатели

Гидродинамические излучатели обеспечивают преобразование энергии струи жидкости в энергию ультразвуковых колебаний[5]. Их действие основано на генерировании ультразвуковых колебаний в жидкой среде, при

взаимодействии вытекающей из сопла струи с препятствием определённой формы и размеров, либо при принудительном периодическом прерывании струи. Действие газоструйных излучателей основано на вихреобразовании, резонансе, автоколебаниях и других физических эффектах. В зависимости от характера преобразования энергии гидродинамические излучатели делятся на[4]:

- Пластинчатые излучатели (Рисунок 1.3, а);
- Клапанные;
- Вихревые;
- Пульсационные;
- Роторные (Рисунок 2.2, б).



а - пластинчатые излучатели;

б – роторный излучатель;

Рисунок 1.2 - Гидродинамические преобразователи

Рабочие частоты гидродинамических излучателей не превышают 20 кГц.

1.3.3 Электромеханические преобразователи

Электромеханические преобразователи– низкочастотные вибраторы, обеспечивающие воздействие с большой амплитудой на объекты большой массы.

Электромеханические преобразователи делятся на[5]:

1) электромагнитные, с подвижным железным якорем, основанные на преобразовании энергии электрического тока в магнитном поле (рис. 2.3);

2) механические вибраторы – основаны на преобразование механической энергии одного вида (энергии вращения кривошипно-шатунных механизмов) в продольные колебания;

3) электродинамические излучатели – основанные на преобразовании энергии электрического тока в магнитном поле.

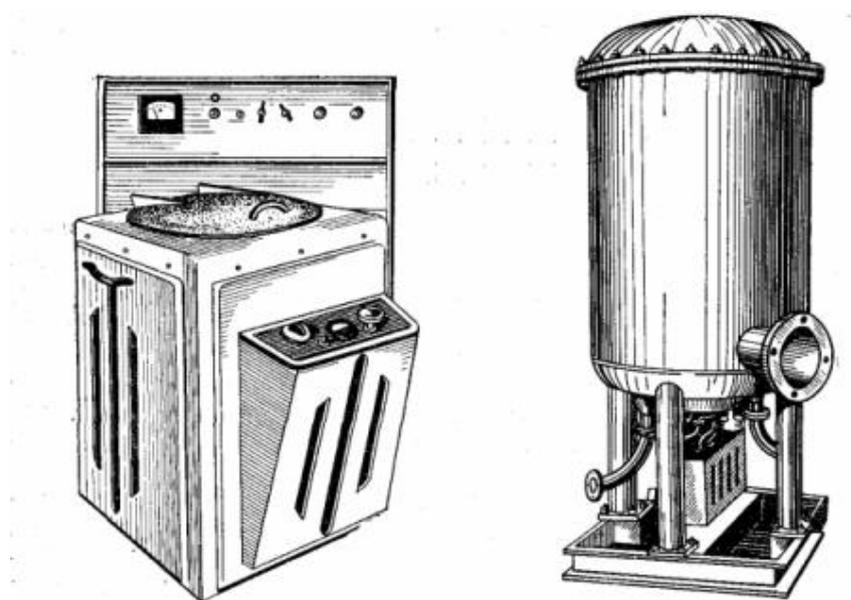


Рисунок 1.3 – Электромагнитные преобразователи

Акустические волны в электромеханическом преобразователе создаются в результате колебаний механической системы в жидкости.

Основным недостатком преобразователей такого типа является невозможность работы на частотах выше 1 кГц, так как при повышении частоты резко возрастают электрические потери на вихревые токи и гистерезис.

1.3.4 Импульсные источники

Действие таких источников основано на преобразовании различных видов энергии для создания коротких широкополосных сигналов. Различаются[4]:

- 1) ударные – преобразующие энергию механического удара;
- 2) взрывные – обеспечивающие преобразование энергии взрыва в звуковые колебания;
- 3) электроразрядные – преобразующие энергию электрического разряда в жидкости;
- 4) тепловые – основанные на тепловом ударе;
- 5) импульсные электродинамические.

1.3.5 Магнестрикционные преобразователи

Магнестрикционные преобразователи - обеспечивают преобразование энергии магнитного поля в механические колебания УЗ частоты.

Используются для возбуждения колебаний в жидких и твердых телах (Рисунок 1.5).

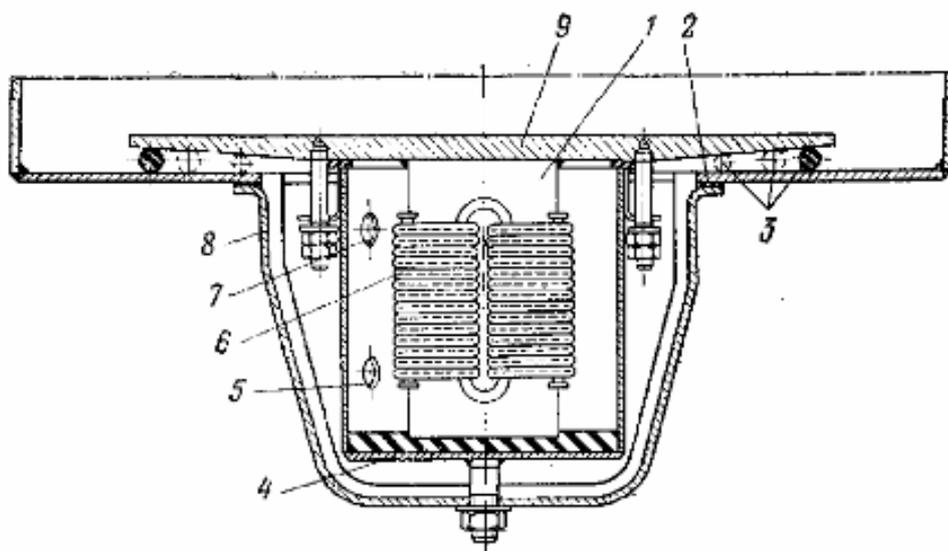


Рисунок 1.4 – Плоский магнестрикционный излучатель:

1 — пакет пластин пермендюра; 2 — прокладка; 3 — уплотнения; 4 — бачок для охлаждения; 5 — вход воды; 6 — обмотка пакета; 7 — слив воды; 8 — кронштейн; 9 — диафрагма.

Рабочие частоты импульсных источников до 100 кГц. Основным недостатком является необходимость водяного охлаждения, поскольку магнестрикционные материалы характеризуются низкой температурой Кюри, температурой потери магнестрикционных свойств материалом[5].

1.3.6 Пьезоэлектрические преобразователи

Пьезоэлектрические преобразователи (рис. 1.6) - обеспечивают преобразование энергии электрического поля в механические колебания УЗ частоты.

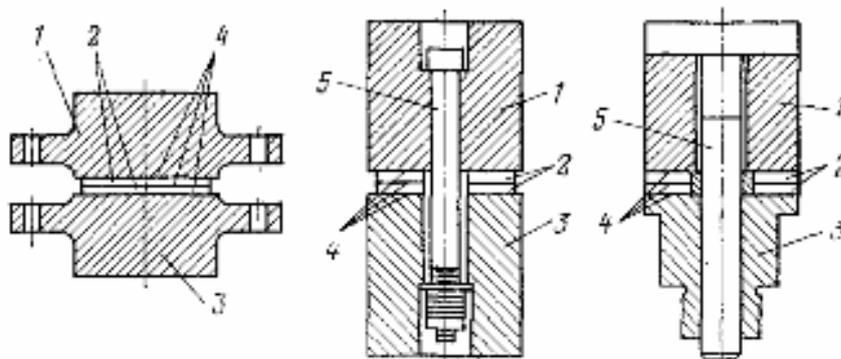


Рисунок 1.5 – Конструкции составных пакетных пьезокерамических преобразователей

1 — излучающая накладка; 2 — пьезокерамические пластины; 3 — отражающая накладка; 4 — электроды; 5 — крепежный болт.

1.4 Ультразвуковые пьезоэлектрические преобразователи

Пьезоэлектрические преобразователи — это устройства, использующие пьезоэлектрический эффект в кристаллах, керамике или плёнках и преобразующие механическую энергию в электрическую и наоборот.

Исходя из физического принципа действия пьезоэлектрические преобразователи делятся на три группы[5]:

1. Преобразователи, использующие прямой пьезоэффект (измерение параметров механических процессов);
2. Преобразователи, использующие обратный пьезоэффект (излучатели ультразвука);
3. Преобразователи параметрического типа, использующие прямой и обратный пьезоэффект (пьезоэлектрические резонаторы).

На рисунке 1.7 представлена конструкция преобразователей, наиболее часто встречающаяся для излучения ультразвуковых волн в жидкую или твердую среду. Между демпфером и согласующим слоем находится пьезоэлемент (пьезокерамический диск). На верхней и нижней пластинах диска находятся электроды, которые соединяются с генератором сигналов. Согласно обратному пьезоэлектрическому эффекту, при подаче напряжения на электроды пьезоэлектрического диска будут происходить колебания, которые будут зависеть от частоты сигнала и размера диска[6].

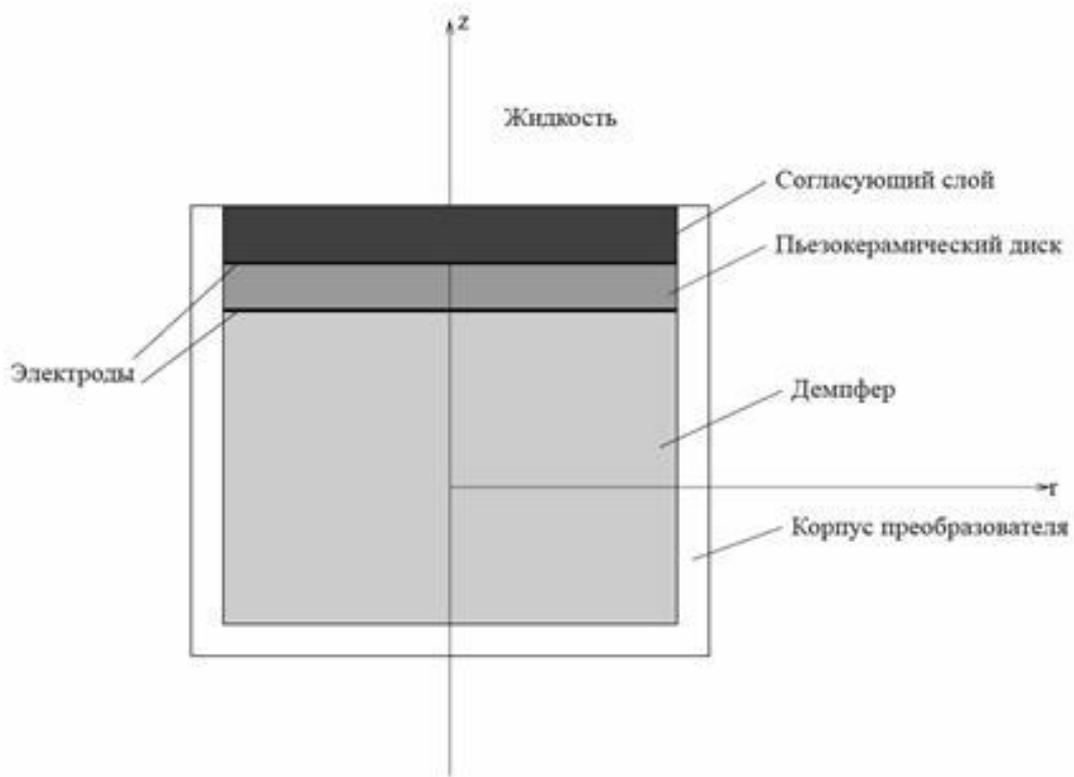


Рис. 1.6. Конструкция пьезоэлектрического преобразователя

Пьезоэлектрический материал с высоким коэффициентом электромеханической связи имеет большое волновое сопротивление по сравнению с водой. Поэтому, полоса пропускания частотной характеристики диска ниже. Неподходящее волновое сопротивление можно преодолеть, используя демпфер и согласующий слой между пьезоэлектрическим диском и жидкой средой.

Демпфер имеет высокую плотность материала, которая требуется для того чтобы контролировать колебания преобразователя путем поглощения энергии излучаемой пьезоэлементом назад, а так же высокий коэффициент затухания.

Если акустическое сопротивление задней части совпадает с волновым сопротивлением пьезокерамики, то получится преобразователь с широкой полосой частот обеспечиваемой передатчиком, но при этом он может иметь меньшую амплитуду сигнала. В обратном случае, когда акустический

импеданс пьезоэлемента и демпфера не совпадает, преобразователь будет иметь меньшее разрешение, но может иметь более высокую амплитуду сигнала и чувствительность.

Основная цель согласующего слоя преобразователя заключается в том, чтобы защитить пьезоэлемент от исследуемого вещества. Согласующий слой должен быть прочным и коррозионностойким к исследуемой жидкости. Дополнительно передний слой должен связывать высокое акустическое сопротивление пьезокерамики с низким акустическим сопротивлением жидкости.

Достоинствами пьезоэлектрического преобразователя является высокая линейность характеристик, широкие частотные и динамические диапазоны, надежность и простота исполнения[6].

1.5 Микроконтроллер STM32F4

Микроконтроллер STM32F4 в данной работе используется в качестве генератора импульсов и для измерения времени.

Семейство микроконтроллеров STM32F4 получила широкое распространение за счет ряда преимуществ, которые отсутствуют у других контроллеров[7]:

1. Надежность

Многие современные устройства помимо обеспечения высокой производительности и функциональности, должны удовлетворять особым требованиям обеспечения безопасности. STM32 имеет несколько аппаратных особенностей для поддержания целостности системы. В их число входит детектор падения напряжения питания, система безопасности системы синхронизации и два отдельных сторожевых таймера. Первый сторожевой

таймер оконного типа. Он должен обновляться в определенный временной интервал. Если обновление произойдет раньше или позже, сторожевой таймер сработает, т.е. сгенерирует прерывание. Второй сторожевой таймер является независимым, имеет свой собственный внешний осциллятор, отдельный от основной системы синхронизации. Система синхронизации поддерживает функции детектирования неисправностей основного внешнего осциллятора, в случае которых происходит переключение на встроенный 8 МГц RC-осциллятор. Микроконтроллеры семейства STM32F4 выдерживают электростатический импульс, номиналом до 4кВ, в отличие от ATmega8 и MCS-51, у которых величина электростатического импульса составляет до 1кВ. Повышенная устойчивость к электростатическим импульсам позволяет избежать внешних защит. Также микроконтроллеры, семейства STM32F4 обладают высокой устойчивостью к электромагнитным помехам и низкий излучаемый электромагнитный шум.

2. Безопасность

Одним из требований к современным устройствам является обеспечение сохранности программного кода от несанкционированного доступа. Для Flash памяти STM32 может быть установлена защита от чтения через отладочный порт. Когда защита от чтения включена, Flash память также защищена от записи, чтобы предотвратить возможность размещения некорректного кода в таблице векторов прерываний. Микроконтроллеры STM32 также содержат часы реального времени и небольшую область SRAM с питанием от батареи. Содержимое этой области автоматически стирается по прерыванию от модуля предотвращения вмешательства в устройство.

3. Гибкость работы

Наличие единого адресного пространства для ОЗУ и для флэш-памяти, размером до 1Мб. У микроконтроллера, серии STM32F4 имеет два

встроенных тактовых генератора, с частотой работы 16МГц и 32МГц соответственно, следовательно, для большинства приложений отсутствует необходимость во внешнем кварцевом генераторе.

4. Стабильность параметров

Микроконтроллеры, семейства STM32F4, в отличие от микроконтроллеров ATmega8 и MCS-51 обладают высокой стабильностью. Так, например, при повышении температуры или при изменении напряжения питания, характеристики STM32F4 мало меняются. Это связано с тем, что ядро и периферия микроконтроллера работают, на напряжении 1.8В.

5. Расширенные параметры

Микроконтроллеры семейства STM32F4 по многим параметрам имеют расширенные характеристики. Встроенная память ОЗУ достигает размера до 196кБ.

6. Производительность

Микроконтроллеры STM32F4 имеют высокую производительность. Это связано с тем, что большинство инструкций микроконтроллера выполняются в одном цикле тактирования. Также ядро STM32F4 включает в себя аппаратные операции умножения, деления и арифметические операции со знаком.

Нельзя не отметить тот факт, что отладочный модуль STM32F4-Discovery (рис.1.8) стоит 1500 рублей, что на порядок ниже, чем STK500 (для ATmega8), которая составляет 3500 рублей.

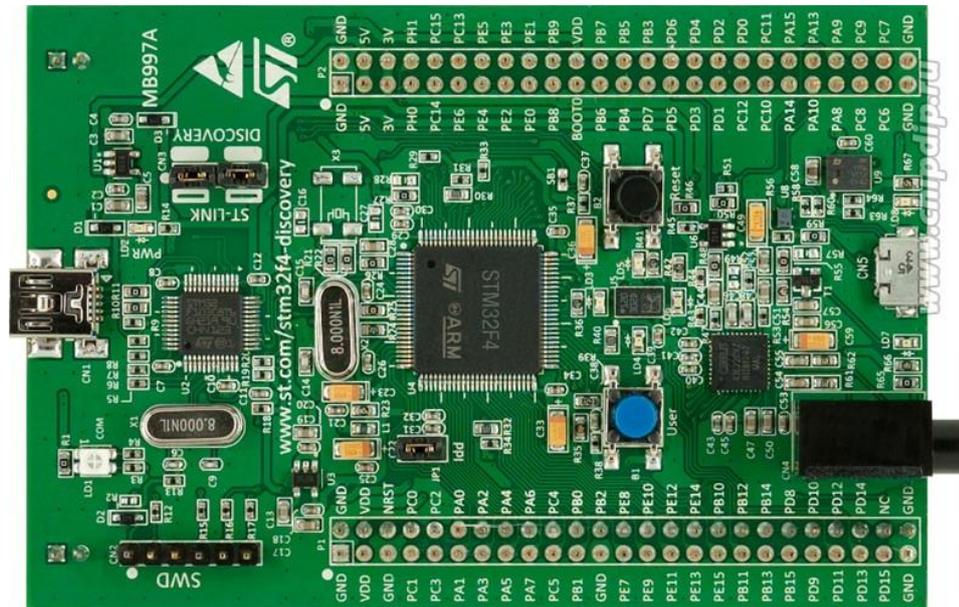


Рис.1.7 STM32F4Discovery

Стоит отметить, что отладочный модуль STM32F4-Discovery питается от USB (5В), в отличие от остальных модулей, которым требуется дополнительный блок питания 12В.

Глава 2. Разработка структурной и принципиальной схем измерителя толщины льда

2.1. Принцип работы толщиномера льда

Для задач, стоящих перед исследователями гидрологических процессов в прибрежной зоне водоемов требуется учитывать состояние ледового покрова, в том числе и детерминирование моментов образования и схода ледового покрова. Были замечены изменения в устоявшихся суточных и сезонных биологических и физико-химических ритмах в озерах при подвижках льда, которые, по сути, являются спонтанными явлениями. Однако до настоящего времени не существовало возможности зарегистрировать и описать колебания ледового слоя.

Таким образом, стоит задача в создании регистрирующей аппаратуры, способной регистрировать: момент образования и схода ледового покрова; величину его прироста; вертикальные перемещения.

Для реализации поставленной задачи целесообразно применить метод УЗ эхозондирования, при этом зафиксировать УЗ излучатель и приемник регистрирующей аппаратуры на дне водоема, направив их вверх к границе раздела "вода-лед". Преимущества такого подхода заключаются в следующем:

1. Прибор может находиться на дне круглый год, в отличие от установки прибора на поверхности льда, когда прибор можно установить только на установившийся и окрепший лед.

2. При поверхностной установке прибор от нагрева вытапливает под собой часть льда и находится частично в воде. В данном случае, передатчик плохо передаёт энергию ультразвукового сигнала в лед.

3. Так же, измерение расстояния от дна водоема до нижней границы льда позволяет исключить погрешности из-за искажений и переотражений, связанных с сильным температурным градиентом по толщине льда.

Недостатком является возникающая необходимость герметичного исполнения конструкции, способной выдерживать соответствующие давления. В нашем случае глубина установки не превышает 5 метров, т.е. превышение давления составит около 0.5 атм. Герметизации электронной части можно добиться, не прибегая к дорогостоящим технологиям и материалам. Так же, стоит отметить, что под водой из-за давления на ультразвуковой датчик, уходит резонансная частота, поэтому необходимо реализовать автоматическую подстройку частоты.

К недостаткам подхода можно отнести вертикальные перемещения льда из-за приливов и отливов, однако, данная проблема решается с помощью применения датчика давления.

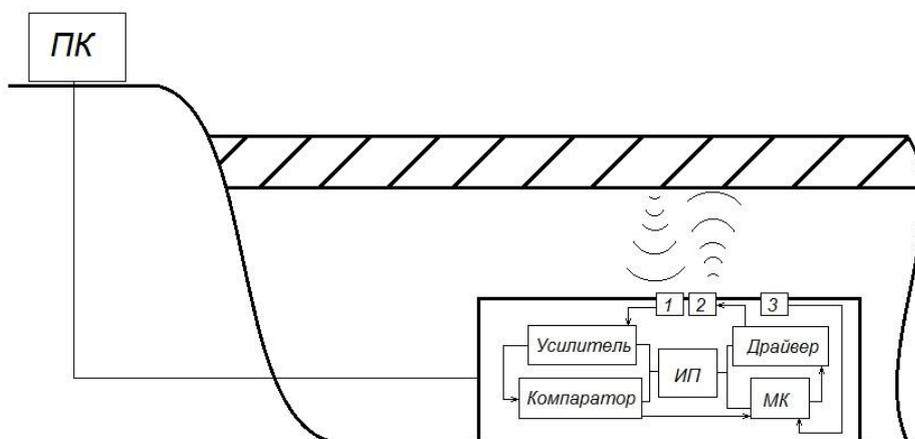


Рис. 2.1 Схема измерителя толщины льда

1 – приемник, 2 – передатчик, 3 – датчики температуры и давления.

На рис. 2.1 показано предлагаемое расположение измерителей в натуральных условиях. Прибор расположен на дне водоема, УЗ сигнала отражается на границе раздела среды «вода-лед». Записывающая аппаратура располагается в удаленном помещении.

Расчет толщины льда производится по формуле:

$$S = \frac{V * T_k - \Delta P * 10,41}{2}$$

где V – скорость распространения ультразвука в воде; T_k – температурный коэффициент (таблица 2.1); t – время, за которое ультразвук проходит от излучателя до приемника; ΔP – разница между значением давления в предыдущий момент времени и настоящий. Коэффициент 10,41 необходим для перевода значения из бар в метры из расчета 1 бар = 10,41 м. Полученное значение необходимо разделить на 2, т.к. ультразвуковая волна проходит от излучателя до нижней границы льда и от нижней границы льда до приемника.

Таблица 2.1. Скорость распространения звука в воде в зависимости от температуры

Температура воды (°C)	Скорость звука (м/с)
1	1 403
2	1 412
4	1 423
5	1 427
7	1 433
8	1 438
10	1 447

Значение времени, за которое ультразвук проходит от излучателя до приемника измеряется с помощью таймера микроконтроллера STM32F4. Максимальная частота работы таймера равна 168МГц, следовательно, теоретически с помощью микроконтроллера можно регистрировать изменения расстояния $S = 1500 \frac{\text{м}}{\text{с}} * \frac{1}{168\text{МГц}} = 8.85\text{мкм}$.

2.2. Выбор и обоснование структурной схемы



Рис.2.2 Структурная схема измерителя толщины льда

МК - микроконтроллер; ВИП – вспомогательный источник питания

В качестве приемника/передатчика используются ультразвуковые датчики серии МА40. Датчики представленной серии имеют герметичное исполнение, высокую надежность, малые габариты, а так же обладают высокой чувствительностью, потребляют малое количество энергии. Датчики серии МА40 имеют резонансную частоту 40 КГц и способны детектировать расстояние до 5м, что удовлетворяет поставленным задачам.

С помощью микроконтроллера (МК) генерируется пачка импульсов для раскачки ультразвукового излучателя. Для увеличения мощности сигнала используется драйвер. Излучаемый сигнал отражается от нижней границы льда и регистрируется ультразвуковым приемником. Для увеличения амплитуды принятого сигнала в схеме используется усилитель. Компаратор в схеме необходим для того, чтобы регистрировать отраженный сигнал без различных шумов и помех. С помощью микроконтроллера STM32F4 выполняется автоматическая подстройка частоты излучаемых импульсов, рассчитываются вертикальные перемещения льда, осуществляется передача

данных на ПК. Датчик температуры необходим для учета температурного коэффициента воды, который влияет на скорость распространения ультразвука в водной среде. Датчик давления необходим для того, чтобы следить за приливами и отливами воды. Вывод результата отображается на ПК.

2.3. Выбор и обоснование принципиальной схемы

2.3.1 Схема излучателя ультразвукового сигнала

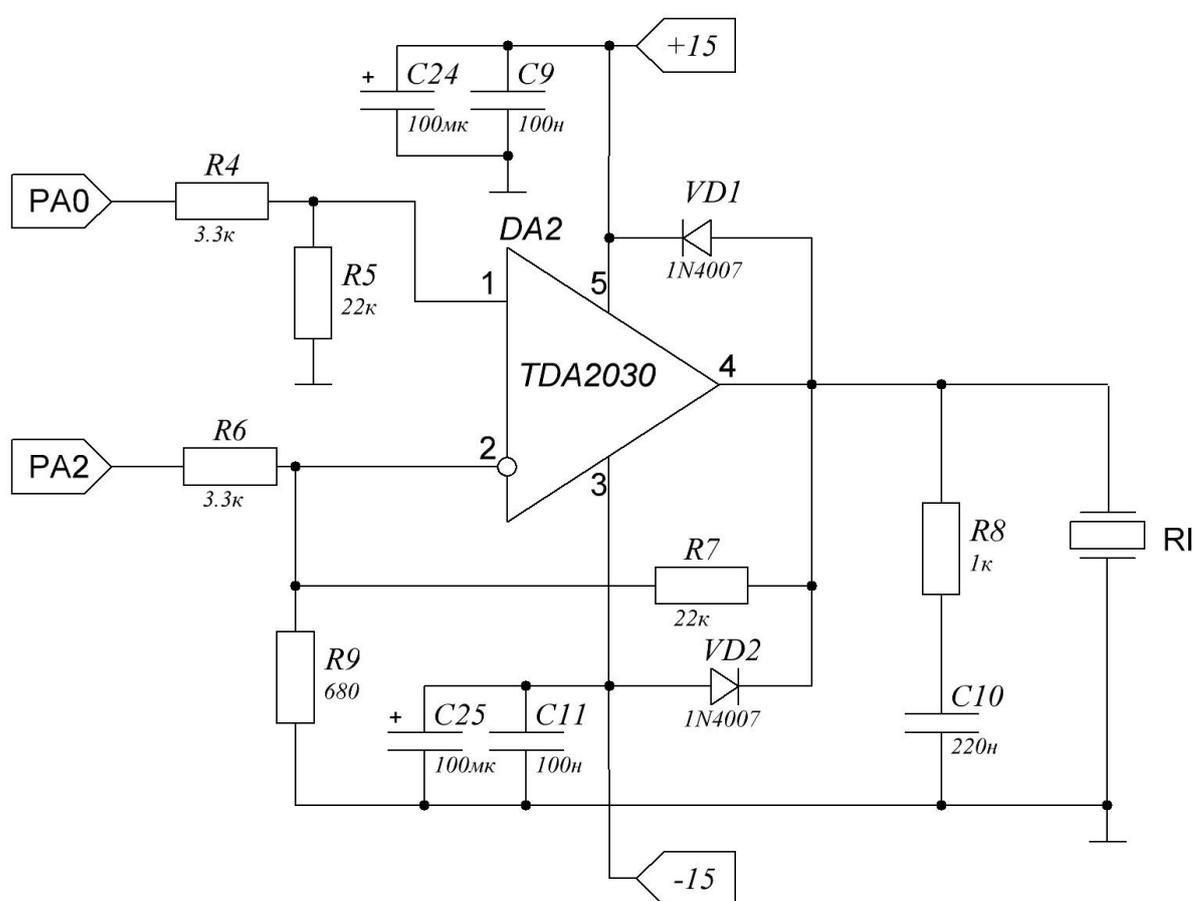


Рис.2.3 Принципиальная схема излучателя ультразвукового сигнала

PA0, PA2 – выходы микроконтроллера

Схема излучателя ультразвукового сигнала представлена на рисунке 2.3. В качестве излучателя R1 в схеме используется ультразвуковой передатчик серии MA40. Резонансная частота датчика составляет 40 КГц, поэтому на выходах микроконтроллера PA0 и PA2 генерируются импульсы с периодом

25 мкс для раскочки УЗ передатчика, как в положительной, так и в отрицательной полярности.

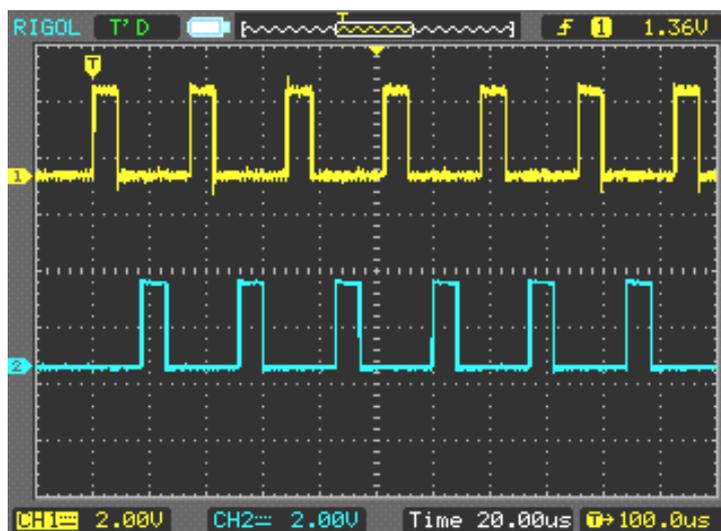


Рис. 2.4 Диаграммы генерируемых импульсов микроконтроллером
Верхняя – с выхода микроконтроллера PA0, нижняя – с выхода PA2.

В качестве усилителя амплитуды генерируемых микроконтроллером импульсов используется микросхема TDA2030. Она представляет собой усилитель мощности класса АВ и обеспечивает большой выходной ток, имеет малые гармонические и интермодуляционные искажения, широкую полосу частот усиливаемого сигнала, очень малый уровень собственных шумов, встроенную защиту от короткого замыкания выхода, автоматическую систему ограничения рассеиваемой мощности, удерживающую рабочую точку выходных транзисторов ИМС в безопасной области. Микросхема имеет двуполярное питание $\pm 15\text{В}$, которое обеспечивает вспомогательный источник питания. Конденсаторы $C_9, C_{11}, C_{24}, C_{25}$ используются для фильтрации помех.

Из справочника [8] выберем конденсаторы $C_9, C_{11}, C_{24}, C_{25}, C_{10}$:

C_9, C_{11} - CC0805KRX7R8BB104 - керамический чип конденсатор, номинальная емкость 0,1мкФ, рабочее напряжение 25В.

C_{24}, C_{25} - EEEFK1E101XP - электролитический чип конденсатор, номинальная емкость 100мкФ, рабочее напряжение 25В.

C_{10} - CC0805KRX7R7BB224 - керамический чип конденсатор, номинальная емкость 0,22мкФ, рабочее напряжение 16В.

Для защиты устройства от скачков выходного напряжения в схеме присутствуют диоды VD_1, VD_2 . В соответствии с документацией к микросхеме TDA2030 требования, предъявляемые к диодам $I_{пр} = (0.5 \div 1)A$; $U_{обр} > 100В$.

Из справочника[9] выберем диоды $VD_1 - VD_2$: 1N4007 – выпрямительный диод, максимальный прямой ток 1А, максимальное обратное напряжение 1000В.

Коэффициент усиления задается резисторами R7 и R9 и высчитывается по формуле $K = 1 + \frac{R7}{R9}$.

Из справочника[10] выберем резисторы:

R_4, R_6 - CR0805-JW-332ELF - чип резистор 0.125Вт, корпус 0805, номиналом 3.3кОм.

R_5, R_7 - RC0805JR-0722K - чип резистор 0.25Вт, корпус 1206, номиналом 22кОм.

R_8 - CRCW1201KFKEA – чип резистор 0.25Вт, корпус 1206, номиналом 1кОм.

R_9 - B54102A1681J60 - чип резистор 0.125Вт, корпус 0805, номиналом 680Ом.

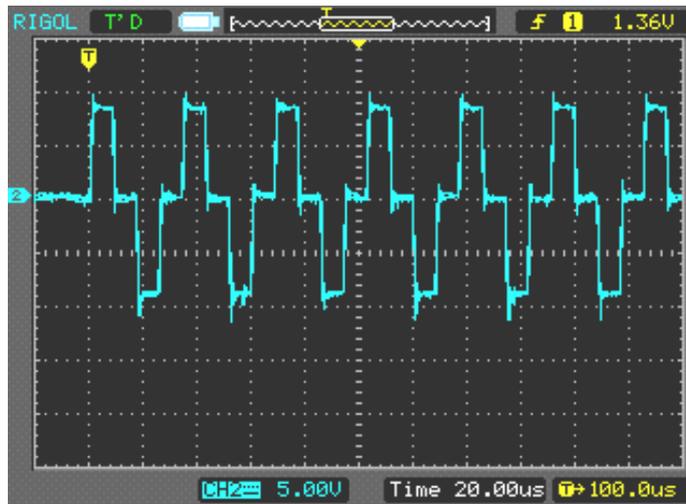


Рис.2.5 Сигнал на выходе усилителя DA2

Сигнал, полученный на выходе усилителя представлен на рис.2.5.

Другие рассмотренные схемы имеют недостатки, как, например, резонансная схема управления питается низкими напряжениями, что увеличивает время раскочки излучателя, а трансформаторная схема требует подбора частоты управляющих сигналов и не позволяет изменять частоту.

2.3.2. Вспомогательный источник питания

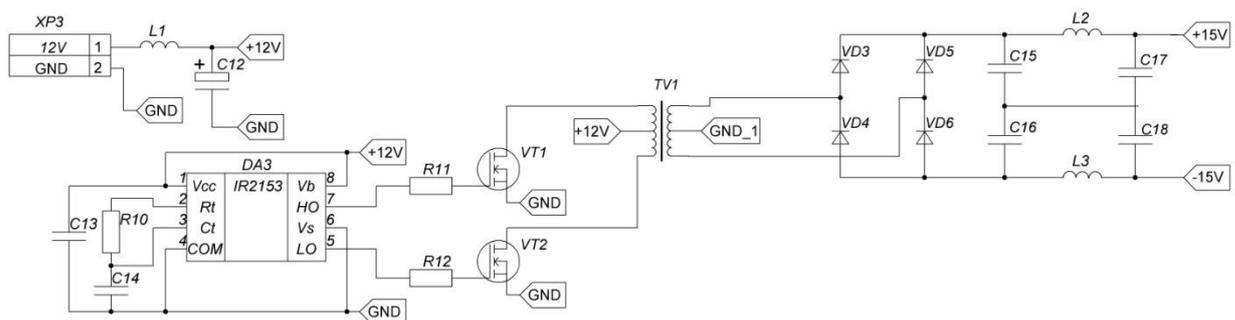


Рис. 2.6. Принципиальная схема вспомогательного источника питания

Цепь катушки индуктивности L_1 и электролитического конденсатора C_{12} необходима для защиты работы схемы от помех внешнего источника питания, подсоединяемого через разъем XP_3 .

Конденсатор керамический с типовым значением емкости 1мкФ, индуктивность также типовая 100мкГн.

Выберем индуктивность и конденсатор из справочника:

C_{12} : CC0805ZRY5V – керамический чип конденсатор, номинальная емкость 1мкФ, рабочее напряжение 25V.

L_1 : RLB0914-101KL – катушка индуктивности, номинальная индуктивность 100мкГн, максимальный постоянный ток 1А, активное сопротивление 0.28Ом, добротность 30.

Диоды $VD_3 - VD_6$ данного источника представляют собой выпрямитель. Они преобразуют сигнал, поступающий с вторичной обмотки трансформатора TV_1 .

Из справочника выберем диоды $VD_3 - VD_6$:

VD_3, VD_4, VD_5, VD_6 : SS16 – высокоскоростные диоды Шоттки, максимальное напряжение на диоде– 60В, максимальный ток 1А.

Для исключения высокочастотных помех на выходе вспомогательного источника питания, необходима схема сглаживания сигнала. Это реализуется с помощью цепи, состоящей из конденсаторов и индуктивностей: $C_{15}-C_{18}, L_2-L_3$. Примем значения конденсаторов равными 4.7мкФ, катушки индуктивности равными 100мкГн.

Выберем значения конденсаторов и индуктивностей из справочника:

Выберем резисторы и конденсаторы из справочника :

$C_{15}, C_{16}, C_{17}, C_{18}$: CC0805ZRY5V – керамический чип конденсатор, номинальная емкость 1мкФ, рабочее напряжение 25V.

L_2, L_3 : RLB0914-101KL – катушка индуктивности, номинальная индуктивность 100мкГн, максимальный постоянный ток 1А, активное сопротивление 0.28Ом, добротность 30.

Произведем расчет повышающего трансформатора TV_1 :

Мощность на вторичных обмотках трансформатора составляет:

$$P_2 = P_{\Sigma \text{пит DA}}, P_2 \approx 3 \text{Вт}$$

Считая, что КПД трансформатора 95%, найдем мощность на первичной обмотке:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}; P_1 \approx 3.2 \text{ Вт}$$

Напряжение на первичной обмотке трансформатора 12В:

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1}; I_1 \approx 300 \text{ мА}$$

Зададим частоту преобразования инвертора равной 80kHz.

Рассчитаем трансформатор TV_1 .

Средняя габаритная мощность трансформатора равна:

$$P_{cp} = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

$$P_{cp} = 3.1 \text{ Вт}$$

В качестве материала сердечника возьмем феррит 1500НМ3 ($B_m = 0.35 \text{ Тл}$).

$$S_{CT} S_{OK} = \frac{P}{f B_m j K_{OK} K_{CT}}; S_{CT} S_{OK} = 4.2 * 10^{-10} \text{ м}^4$$

Возьмем $S_{CT} S_{OK}$ выше рассчитанного значения (из-за удвоенного количества обмоток):

К20x12x6

Из справочника [11] выберем необходимые параметры:

$$(S_{CT} S_{OK} = 0.12 \text{ см}^4; S_{CT} = 0.25 \text{ см}^2; S_{OK} = 0.785 \text{ см}^2; l_{cp} = 2 \text{ см})$$

Рассчитаем количество витков в первичной обмотке трансформатора:

$$W_1 = \frac{U_1}{B_m K_{CT} S_{CT} f}; W_1 = 20$$

$$n = \frac{U_2}{U_1}; n = 1; \text{ тогда:}$$

$$W_3 = W_2 = n W_1; W_3 = W_2 = 20$$

$$S_{np1} = \frac{I_1}{j}; S_{np1} = 0.1 \text{ мм}^2$$

$$S_{np2} = \frac{I_2}{j}; S_{np2} = 0.1 \text{ мм}^2$$

$$S_{np3} = \frac{I_3}{j}; S_{np3} = 0.1 \text{ мм}^2$$

$$K_o = \frac{2S_{np1}W_1 + 2S_{np2}W_2 + 2S_{np3}W_3}{S_{OK}}; K_o = 0.152 < 0.3$$

Выберем транзисторы VT_1 и VT_2 [9]:

VT_1, VT_2 : IRFD014 – транзисторы типа MOSFET, $U_{си \text{ max}}=60\text{V}$, $U_{зи \text{ max}}=10\text{V}$, $I_{ст \text{ max}}=1.7\text{A}$, $T_{канала \text{ max}}=150^\circ\text{C}$.

Для ограничения их тока управления используются типовые резисторы R_{11}, R_{12} номиналом 1кОм.

Из справочника[10] выбираем резисторы:

R_{11}, R_{12} : CRCW1201KFKEA – чип резистор 0.25Вт, корпус 1206, номиналом 1кОм.

Для управления транзисторами будем использовать микросхему IR2153(DA_3), которая формирует пару противофазных сигналов с временной задержкой между ними («мертвое» время), что позволяет управлять полумостовыми инверторами.

Для того чтобы обеспечивалась работа микросхемы IR2153 с частотой 80kHz, необходимы следующие элементы (в соответствии с технической документацией к микросхеме IR2153):

$$C_{13}=1\text{нФ}, C_{14}=470\text{пФ}, R_{10}=20\text{кОм}$$

Из справочника [8] выберем конденсаторы C_1 и C_2 :

C_{13}, C_{14} : C1206C475K3RACTU - конденсатор с напряжением 25В и емкостью 4.7мкФ. Корпус – 1206.

Из справочника[10] выбираем резистор R_1 :

R_{10} : CRCW1201KFKEA – чип резистор 0.25Вт, корпус 1206, номиналом 20кОм.

2.3.3. Схема приемника ультразвукового сигнала

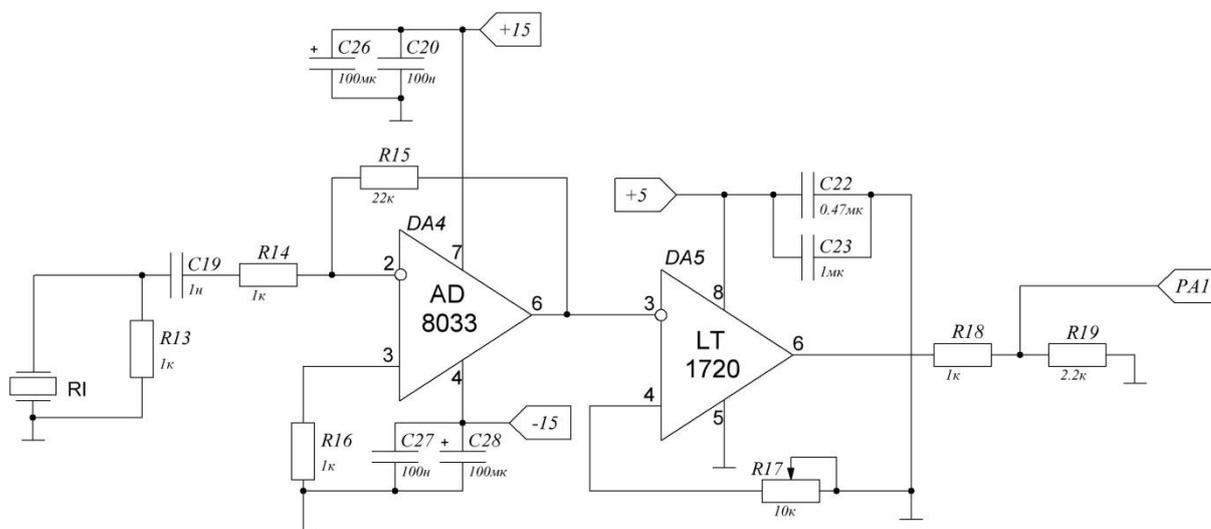


Рис. 2.7. Принципиальная схема приемника ультразвукового сигнала

Приемная часть состоит из ультразвукового датчика серии MA40, операционного усилителя AD8033 и компаратора LT1720. AD8033 - операционный усилитель (ОУ) с обратной связью по напряжению и входным каскадом на полевых транзисторах. низкий уровень шума ($11 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$) и высокое быстродействие (ширина полосы 80 МГц, скорость нарастания 80 В/мкс). Коэффициент усиления определяется резисторами R15 и R14.

Из справочника[10] выбираем резисторы:

R_{14} - CRCW1201KFKEA – чип резистор 0.25Вт, корпус 1206, номиналом 1кОм.

R_{15} - RC0805JR-0722K - чип резистор 0.25Вт, корпус 1206, номиналом 22кОм.

R_{16} - CRCW1201KFKEA – чип резистор 0.25Вт, корпус 1206, номиналом 1кОм.

Конденсаторы C20, C26, C27, C28 используются для фильтрации помех от источника питания. Из справочника[8] выбираем конденсаторы:

C_{20}, C_{28} - CC0805KRX7R8BB104 - керамический чип конденсатор, номинальная емкость 0,1мкФ, рабочее напряжение 25В.

C_{26}, C_{27} - EEEFK1E101XP - электролитический чип конденсатор, номинальная емкость 100мкФ, рабочее напряжение 25В.

На рис.2.8 представлены диаграммы с выхода операционного усилителя.

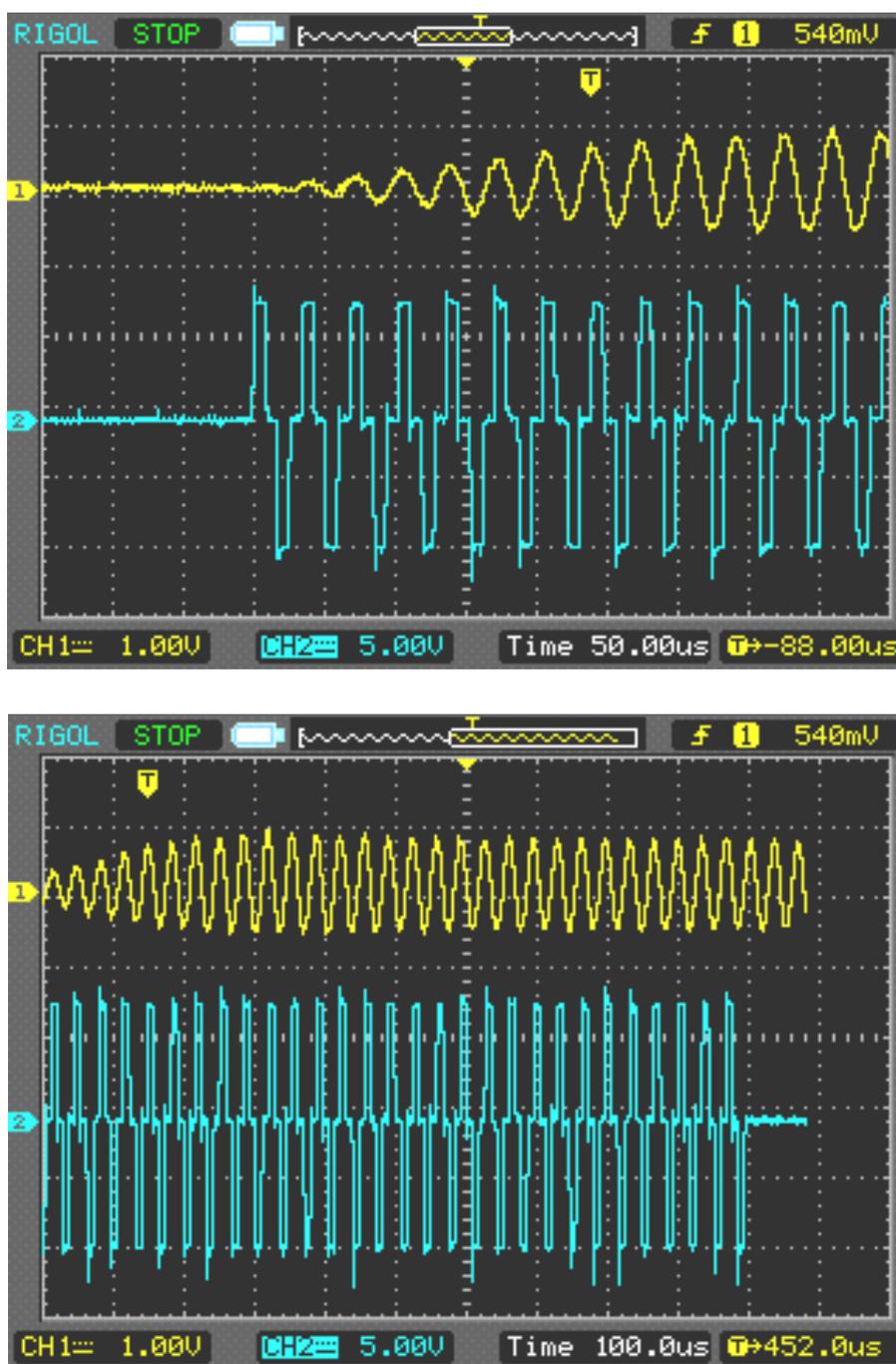


Рис.2.8 Диаграммы сигналов: 1 канал – с выхода ОУ, 2 канал – с передатчика.

С выхода операционного усилителя сигнал приходит на компаратор, который регистрирует момент прохождения принятого сигнала через 0. С выхода компаратора сигнал понижается через резистивный делитель $R_{18} - R_{19}$ до 3.3В и приходит на таймер захвата микроконтроллера.

Из справочника[10] выбираем резисторы:

R_{18} - CRCW1201KFKEA – чип резистор 0.25Вт, корпус 1206, номиналом 1кОм.

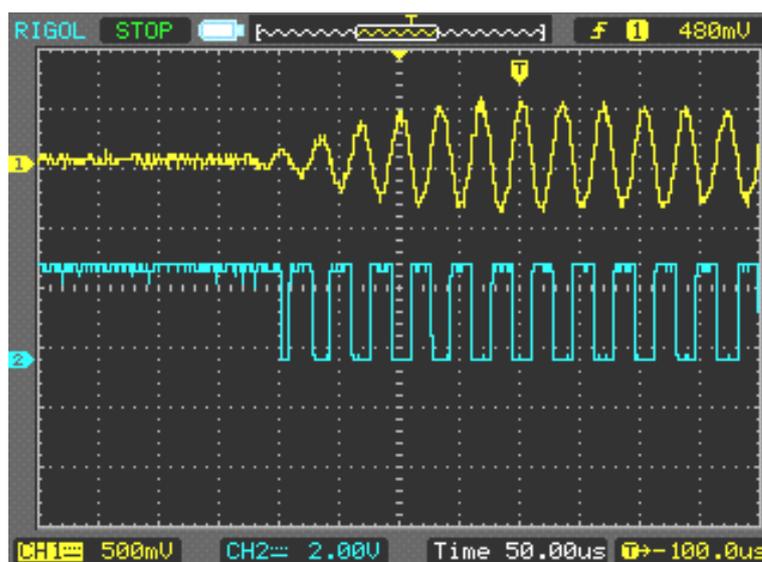
R_{19} - B54102A1222J60 - - чип резистор 0.25Вт, корпус 1206, номиналом 2.2кОм.

Конденсаторы C_{22}, C_{23} используются для фильтрации помех от источника питания. Из справочника[8] выбираем конденсаторы:

C_{22} - EEEHA1HR47R - электролитический чип конденсатор, номинальная емкость 0.47мкФ, рабочее напряжение 50В.

C_{23} - RPEE41H105M3 - керамический конденсатор, номинальная емкость 1мкФ, рабочее напряжение 50В.

На рис.2.9 представлены диаграммы с выхода компаратора



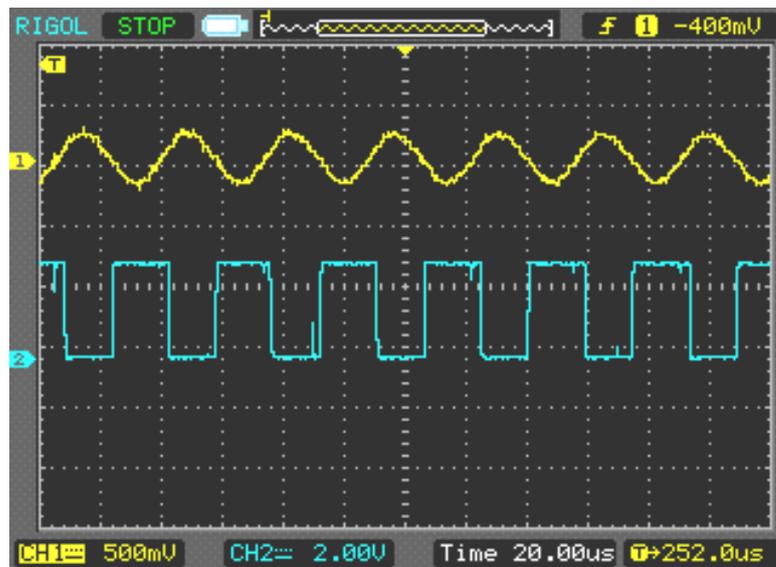


Рис.2.9 Диаграммы сигналов: 1 канал – с выхода ОУ, 2 канал – с выхода компаратора.

2.3.4. Система управления

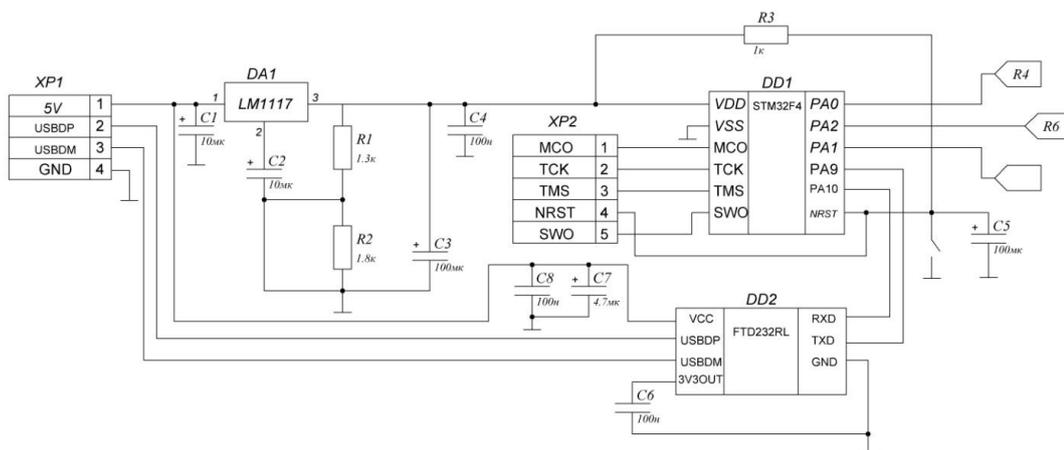


Рис. 2.10. Принципиальная схема системы управления

Система управления выполнена на микроконтроллере STM32F4. С его помощью осуществляется генерация импульсов для раскачки УЗ передатчика, автоматическая подстройка частоты, измерение скорости нарастания льда и передача данных на ПК. Подробный алгоритм работы микроконтроллера приведен в главе 3.1.

В схеме присутствует разъем USB (XP₁) для передачи данных и питания микросхем (+5В). Микроконтроллеру STM32F4 требуется питание +3.3В., поэтому в схеме используется линейный стабилизатор напряжения LM1117.

Выходное напряжение регулируется резисторами R_1 и R_2 и рассчитывается по формуле $U_{вых} = 1.25 * (1 + \frac{R_2}{R_1})$. Максимальный ток нагрузки стабилизатора составляет 800мА., чего достаточно для STM32F4.

Из справочника выбираем резисторы:

R_1 – CRCW08051K80FKEA - чип резистор 0.125Вт, корпус 0805, номиналом 1.8кОм.

R_2 – CRCW08051K30FKEA - чип резистор 0.125Вт, корпус 0805, номиналом 1.3кОм.

R_3 – CRCW1201KFKEA – чип резистор 0.25Вт, корпус 1206, номиналом 1кОм.

Резистор R_3 является токоограничивающим. Конденсатор C_5 защищает от дребезга.

Из справочника выбираем конденсаторы:

C_4, C_6, C_8 - CC0805KRX7R8BB104 - керамический чип конденсатор, номинальная емкость 0,1мкФ, рабочее напряжение 25В.

C_3, C_5 - EEEFK1E101XP - электролитический чип конденсатор, номинальная емкость 100мкФ, рабочее напряжение 25В.

C_7 - GRM31CR71E475KA88L - керамический чип конденсатор, номинальная емкость 4.7мкФ, рабочее напряжение 25В.

C_1, C_2 - EEEFC1V100R - электролитический чип конденсатор, номинальная емкость 10мкФ, рабочее напряжение 35В.

Программирование микроконтроллера осуществляется через разъем XP_2 . Результат измерений передается на ПК с помощью UART. Связь устройства с ПК осуществляется с помощью USB, поэтому для передачи данных необходим преобразователь USB-UART, который выполнен на микросхеме FTD232RL.

Глава 3. Разработка алгоритма работы микроконтроллера и проведение экспериментов.

3.1 Генератор импульсов

В качестве передатчика в схеме используется ультразвуковой датчик серии МА40. Датчики представленной серии имеют резонансную частоту 40 кГц, следовательно, было необходимо реализовать генератор прямоугольных импульсов 40 кГц на микроконтроллере STM32F4. Программа генерации импульсов реализована на базовом таймере. Алгоритм работы представлен на рис.3.1.

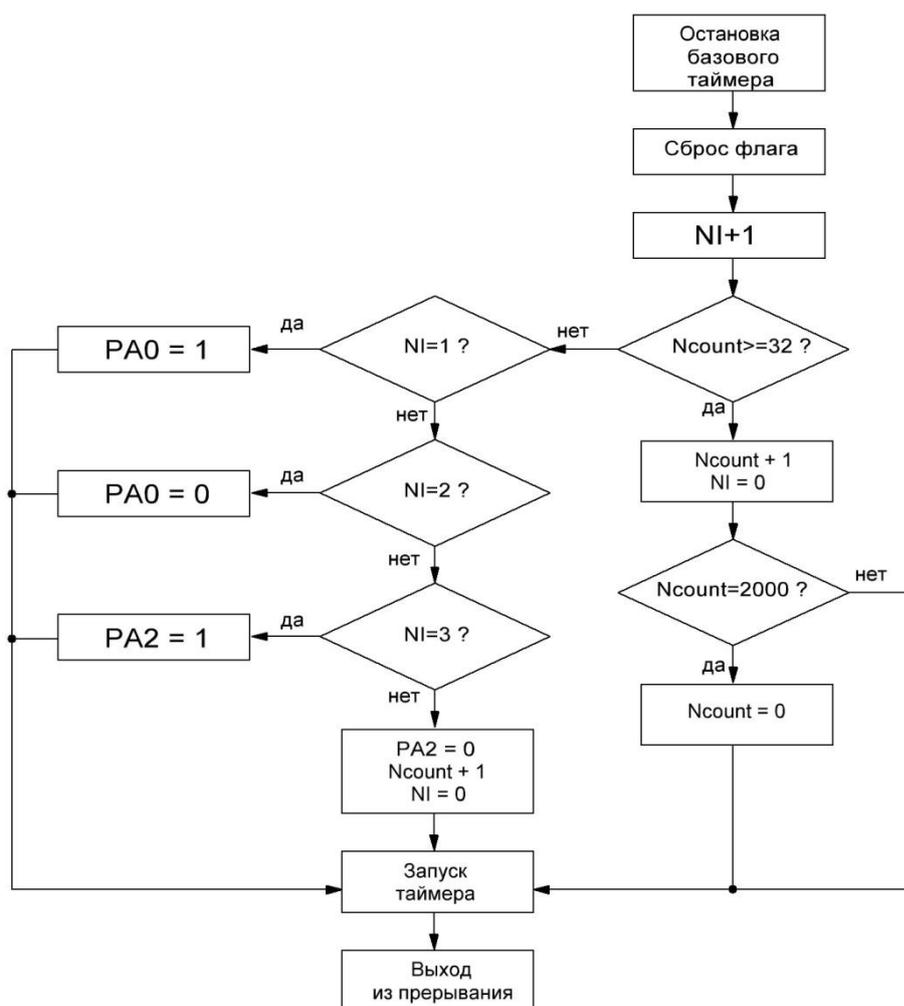


Рис.3.1. Алгоритм работы генератора импульсов

Переменная NI необходима для задания формы импульса. Всего имеет 4 значения ($A0=1$, $A0=0$, $A2=1$, $A2=0$). Переменной Ncount задается количество импульсов в пакете, а так же время паузы между пакетами импульсов.

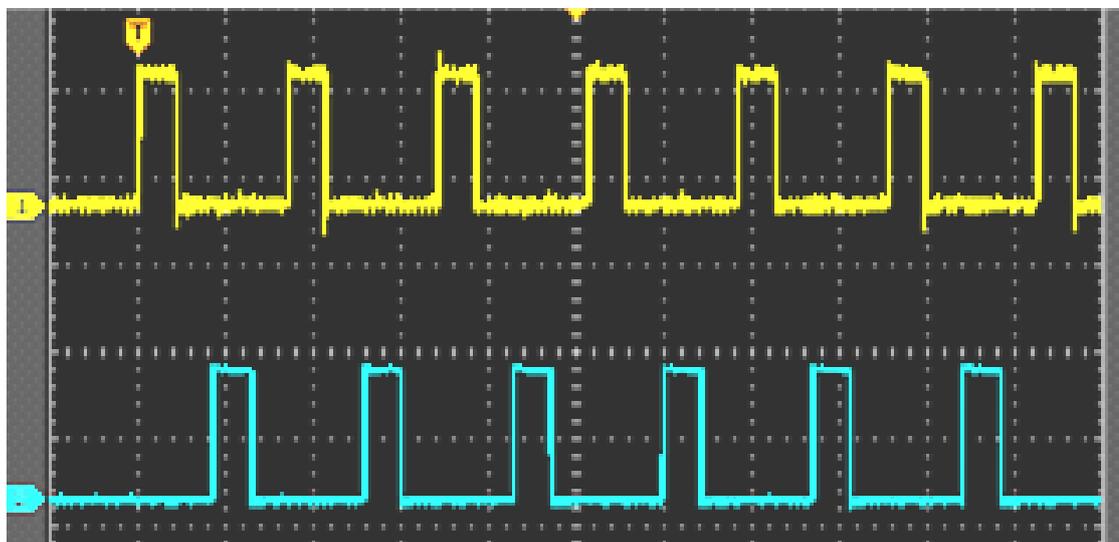


Рис 3.2 Генерируемые импульсы

3.2 Автоматическая подстройка частоты

В главе 2.1 указано, что прибор располагается на дне водоема. При проведении эксперимента, было выявлено, что из-за давления, оказываемого водой, уходит резонансная частота. Как следствие, уменьшается амплитуда излучаемого сигнала (рис.3.3)

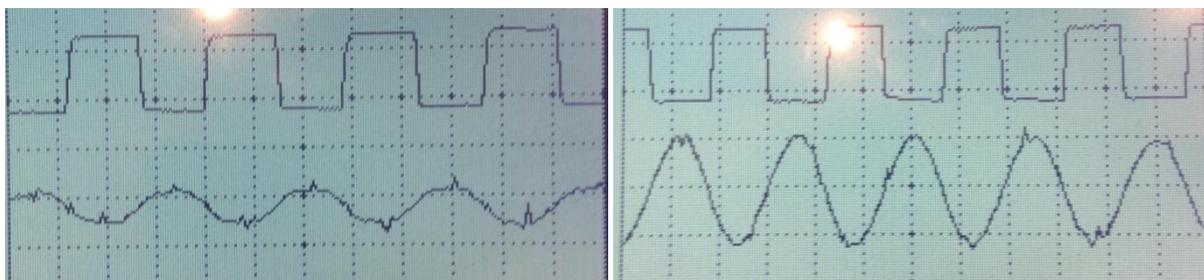


Рис.3.3 левый – частота колебаний не совпадает с рабочей частотой датчика; правый– частоты совпадают

Решить эту проблему помогает автоматическая подстройка частоты. Алгоритм работы программы представлен на рис.3.4.

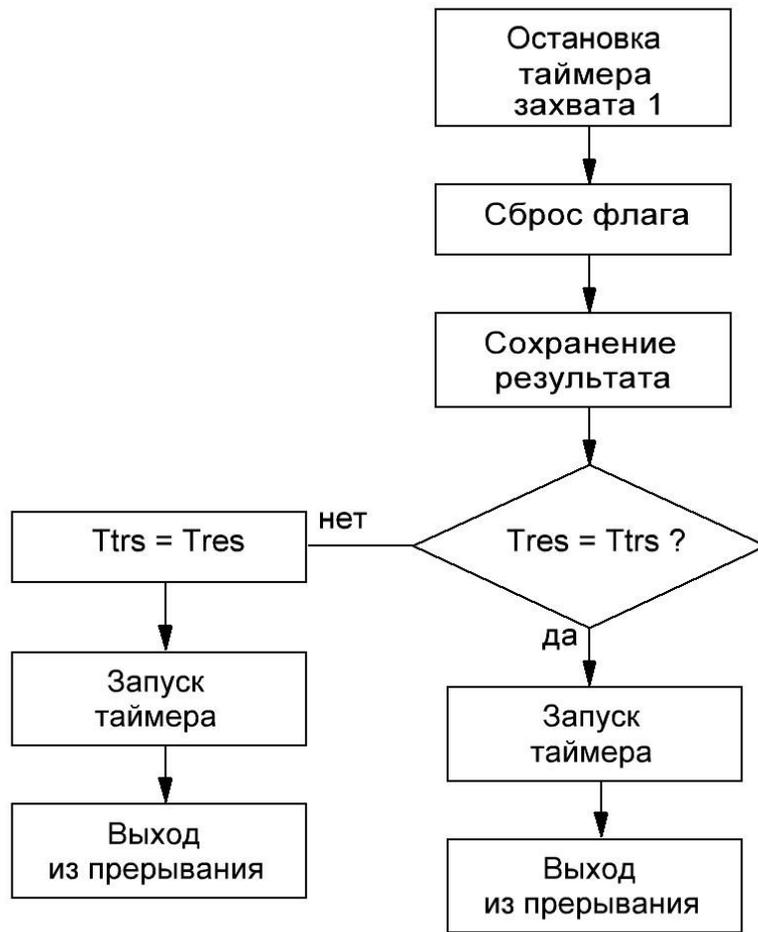


Рис.3.4 Алгоритм работы программы подстройки частоты

С помощью таймера захвата измеряется период принимаемого импульса и записывается в переменную T_{res} . В случае неравенства периодов излучаемого и принимаемого импульсов, в переменную T_{trs} записывается значение T_{res} . Переменная T_{trs} задает период генерируемых импульсов.

3.3 Измерение скорости нарастания льда

При испытании прибора в лабораторных условиях было замечено, что в начальный момент времени прихода сигнала его форма является нестабильной, что не позволяет с высокой точностью измерять расстояние по моменту прихода сигнала. Амплитуда полученного сигнала в процессе его распространения изменялась за счет потерь в среде, что не позволяет использовать импульсный метод измерения расстояния для поставленной

цели, поэтому было решено использовать фазовый метод. Предлагается отслеживать момент прохождения сигнала на выходе компаратора через «0» и следить за его перемещениями по оси «X» в определенном окне, когда форма сигнала стабильна. Это позволит повысить точность измерений по сравнению с традиционным методом фиксации прихода акустического сигнала, т.к. результат измерений не зависит от времени прихода сигнала.

Для реализации представленного метода измерения скорости нарастания льда необходимы 2 таймера захвата, один из которых срабатывает по переднему фронту («T2»), другой по заднему («T1»).

Первый таймер запускаем одновременно с первым импульсом на ножке «РА0» микроконтроллера. Введем дополнительную переменную К. Переменная «К» будет инкрементироваться по прерыванию таймера. С помощью «T1» считаем количество импульсов на выходе компаратора. Т.к. эксперименты показали, что в момент прихода сигнала его форма является нестабильной, необходимо проводить измерения, когда форма сигнала становится стабильной. Когда переменная «К» станет равна 15(время, когда сигнал стабилен), запускается таймер захвата 2, значение счетчика таймера 1 записываем в переменную «М».



Рис.3.5 Диаграммы срабатываний таймеров

Счетчик 2 считает от момента запуска таймера 2 до его срабатывания. Результат записывается в переменную «В». При приросте льда сигнал на выходе компаратора будет перемещаться по оси времени (t будет уменьшаться, т.к. расстояние до льда тоже будет уменьшаться). Чтобы следить за этими изменениями, необходимо отслеживать изменение переменной «В».

В дальнейшем, когда мы знаем, что стабильный сигнал начинается через время, записанное в переменной «М», нет необходимости отсчитывать время до 15 импульса, достаточно запускать Т2 всегда через время «М». «В» в нашем случае, «М» задает начало «окна», когда сигнал стабилен.

Чтобы отслеживаемый импульс не вышел за рамки «окна», необходимо учесть, что при нарастании льда, расстояние от измерительного прибора до льда уменьшается, следовательно, и стабильный сигнал начинается раньше. Поэтому необходимо учитывать это при изменении толщины льда. Для этого, при записи времени в переменную «В», сперва необходимо сравнить записываемое число с уже записанным значением в переменной «В» и разницу вычесть из переменной «М». Переменная «В» содержит в себе значение последнего изменения толщины льда, чтобы отследить изменения за весь период измерений необходимо разницу между записываемым и записанным числом в переменной «В», прибавлять к переменной «Р», которая и отображает изменение толщины льда за весь период.

Глава 4. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

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

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.

Сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Выполним сегментирование рынка высоковольтных источников питания по следующим критериям: вид источника питания, в зависимости от напряжения нагрузки; наличие стабилизации выходного напряжения; наличие гальванической развязки. На основании этих критериев построим карту сегментирования рынка.

	Вид измерителей толщины льда		
	Ультразвуковые измерители	Средства радиолокационного зондирования	Средства инфракрасного зондирования
С большим диапазоном измерений			
С возможностью непрерывно отслеживать скорость нарастания льда			
С высокой точностью измерений			

- существуют на рынке
 –не существуют на рынке

Рис.4.1. Карта сегментирования рынка источников питания

Из карты сегментирования рынка видно, что в сфере измерителей толщины льда с возможностью отслеживать минимальные изменения толщины льда с высокой точностью будет низкая конкуренция.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

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

Таблица 4. 1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок).

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂	Б ₃	К ₁	К ₂	К ₃
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Массогабаритные свойства	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
2. Помехоустойчивость	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
3. Точность измерений	0,3	5	3	2	1,5	0,9	0,6
4. Диапазон измерений	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
5. Ремонтпригодность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
6. Конкурентоспособность	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
7. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	3	2	0,2	0,15	0,1
8. Цена	0,15	5	3	4	0,75	0,45	0,6
Итого	1	31	27	25	4,25	3,3	3

Б₁ – Ультразвуковой измеритель толщины льда (проектируемый прибор);

Б₂ – Средства радиолокационного зондирования; Б₃ – Средства инфракрасного зондирования;

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

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента,

B_i – вес показателя (в долях единицы), B_i – балл i -го показателя.

Из таблицы 4.1 видно, что разрабатываемый продукт наиболее конкурентоспособен, в сравнении с конкурентной продукцией, за счет таких показателей, как точность измерений, массогабаритные свойства, цена. Однако разрабатываемый образец уступает конкурентам в показателе диапазон измерений. Таким образом, в дальнейшем, для удержания продукта на рынке, необходимо улучшать этот показатель.

4.1.3. SWOT – анализ

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

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.

Таблица 4.2. Матрица SWOT

Сильные стороны научного проекта	Слабые стороны научного проекта	Возможности	Угрозы
С1. Заявленная экономичность технологии. С2. Точность измерений С3. Более низкая стоимость	Сл1. Относительно небольшой диапазон измерений	В1. Отсутствие аналогов В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт	У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Усовершенствование других методов измерения У3. Малый спрос на

производства по сравнению с другими технологиями. С4. Наличие прототипа научной разработки.			продукт
--	--	--	---------

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

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

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, или слабых сторон и возможностей и т.д. В случае, когда две или более возможности сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе.

Таблица 4.3. Интерактивная матрица проекта

		Сильные и слабые стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4	Сл1
Возможности проекта	В1	+	+	-	+	-
	В2	-	+	+	-	-
Угрозы проекта	У1	-	-	-	-	+
	У2	-	+	+	-	+
	У3	-	-	-	-	+

Из интерактивной матрицы видно, что необходимо сделать упор на сильные стороны проекта, а именно: «Точность измерений», т.к эта сторона соответствует всем возможностям и «Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями». Что касается слабых сторон проекта, то необходимо приложить усилия, чтобы расширить диапазон измеряемых величин. Ведь именно эта слабость соответствует большему числу угроз.

Таблица 4.4. Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научного проекта: С1. Заявленная экономичность технологии. С2. Точность измерений С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Наличие прототипа научной разработки</p>	<p>. Слабые стороны научного проекта: Сл1. Относительно небольшой диапазон измерений</p>
<p>Возможности: В1. Отсутствие аналогов В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p>	<p>В1С1С2С4+В2С2С3 – благодаря точности измерений и относительно низкой цене большая вероятность дополнительного спроса на продукт, а так же возможно отсутствие конкурентоспособных аналогов.</p>	
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Усовершенствование других методов измерения У3. Малый спрос на продукт</p>	<p>У2С2С3 – при усовершенствовании других методов измерения есть угроза того, что точность измерений прибора будет более низкая, а цена более высокая</p>	<p>У1У2У3Сл1 –диапазон измерений является слабой стороной прибора, т.к. у других предложенных методов диапазон измерения в разы выше, поэтому он не подходит для измерений толстых льдов, что может привести к малому спросу на продукт, а при усовершенствовании точности других методов может возникнуть ненужность в данном продукте</p>

При проведении SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны проекта, а так же возможности и угрозы. Данные, полученные при анализе, могут помочь избавиться от недостатков и угроз проекта, а также сделать разрабатываемый прибор более конкурентоспособным на рынке.

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.

Одним из этапов разработки оборудования является оценка готовности проекта к коммерциализации, поскольку она позволяет выявить все

недостатки проекта и оценить возможность самостоятельного ее завершения. В таблице 4.5 представлен перечень вопросов, по которым необходимо провести оценку.

Таблица 4.5. Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	1	1
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	1	2
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	2
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1

14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
	ИТОГО БАЛЛОВ	24	26

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению; B_i – балл по i -му показателю.

Исходя из данных, представленных в таблице 4.5, можно сделать вывод о том, что проект не готов к коммерциализации, поскольку прибор имеет серьезные технические недоработки, внимание научной группы сосредоточено на их устранении. При завершении доработки, необходимо будет привлечь специалистов разработки необходимой документации.

4.2. Инициация проекта.

4.2.1. Цели и результат проекта.

В таблице 4.6 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта, которые могут быть затронуты в ходе исполнения или в результате завершения проекта.

Таблица 4.6. Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Использование результатов проекта в дальнейших исследованиях
Исполнитель проекта	Повышение квалификации

Организация заказчик	Повышение конкурентоспособности организации
Спонсор проекта	Повышение уровня знаний в научной сфере

Таблица 4.7. Цели и результат проекта

Цели проекта:	Создание измерителя скорости нарастания льда
Ожидаемые результаты проекта:	Измеритель скорости нарастания льда с автоматической подстройкой частоты генерируемых импульсов
Критерии приемки результата проекта:	Работоспособный проект, требования которого совпадают с ТЗ
Требования к результату проекта:	

4.2.2. Цели и результат проекта.

В таблице 4.8 показана рабочая группа проекта, определена роль каждого участника в этом проекте, а также прописаны функции, выполняемые участниками и их трудозатраты в проекте.

Таблица 4.8. Рабочая группа проекта

№ п/п	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, день
1	Руководитель проекта	Постановка задачи и целей проекта, консультирование исполнителей проекта в области электроники, проведение экспериментов с источником накачки, участие в обсуждениях по результатам	30

		работы	
2	Исполнитель проекта	Обзор существующих измерителей толщины льда и методов измерений, проектирование структурной и принципиальной схемы, изготовление макета устройства, испытание в лабораторных условиях, изготовление прибора, тестирование в реальных условиях, устранение недоработок.	192
Итого:			222

4.2.3. Цели и результат проекта.

В таблице 9 представлена информация об ограничениях и допущениях проекта.

Таблица 4.9. Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
1. Бюджет проекта	70000 р.
1.1. Источник финансирования	Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
2. Сроки проекта	01.07.2015-01.08.2016
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.11.2014
2.2. Дата завершения проекта	16.06.2016
3. Прочие ограничения проекта	Не имеется

4.3. Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1. План проекта

Планирование этапов работ по выполнению НИР включает в себя составление перечня этапов и работ, а также распределение исполнителей по всем видам работ. В таблице 4.10 приведены основные этапы и содержание работ с распределением ответственных исполнителей.

Иллюстрация календарного плана проекта осуществляется с помощью диаграммы Ганта.

Таблица 4.10. Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка ТЗ на НИР	10	01.09.2015	10.09.2015	Руководитель
2	Анализ ТЗ	7	11.09.2015	18.09.2015	Исполнитель
3	Обзор литературы по теме проекта	45	19.09.2015	01.11.2015	Исполнитель
4	Выбор структурной схемы устройства	6	02.11.2015	07.11.2015	Исполнитель
5	Выбор и расчет принципиальной схемы устройства	29	08.11.2015	07.12.2015	Исполнитель
6	Разработка лабораторного макета устройства	60	08.12.2015	07.02.2016	Руководитель, Исполнитель
7	Лабораторные испытания	12	08.02.2016	20.02.2016	Руководитель, Исполнитель
8	Корректировка недочетов	16	21.02.2016	08.03.2016	Исполнитель
9	Проведение экспериментов в реальных условиях	46	07.03.2016	05.05.2016	Руководитель, Исполнитель

10	Оформление отчета о проделанной работе	41	06.05.2016	15.06.2016	Руководитель, Исполнитель
Итого:		272			

Иллюстрация календарного плана проекта осуществляется с помощью диаграммы Ганта, представленной на рис. 4.11.

График строится с разбивкой по месяцам (30 дней) за период времени проведения работ. Длительность этапов переводится в календарные дни, и рассчитывается по формуле:

,

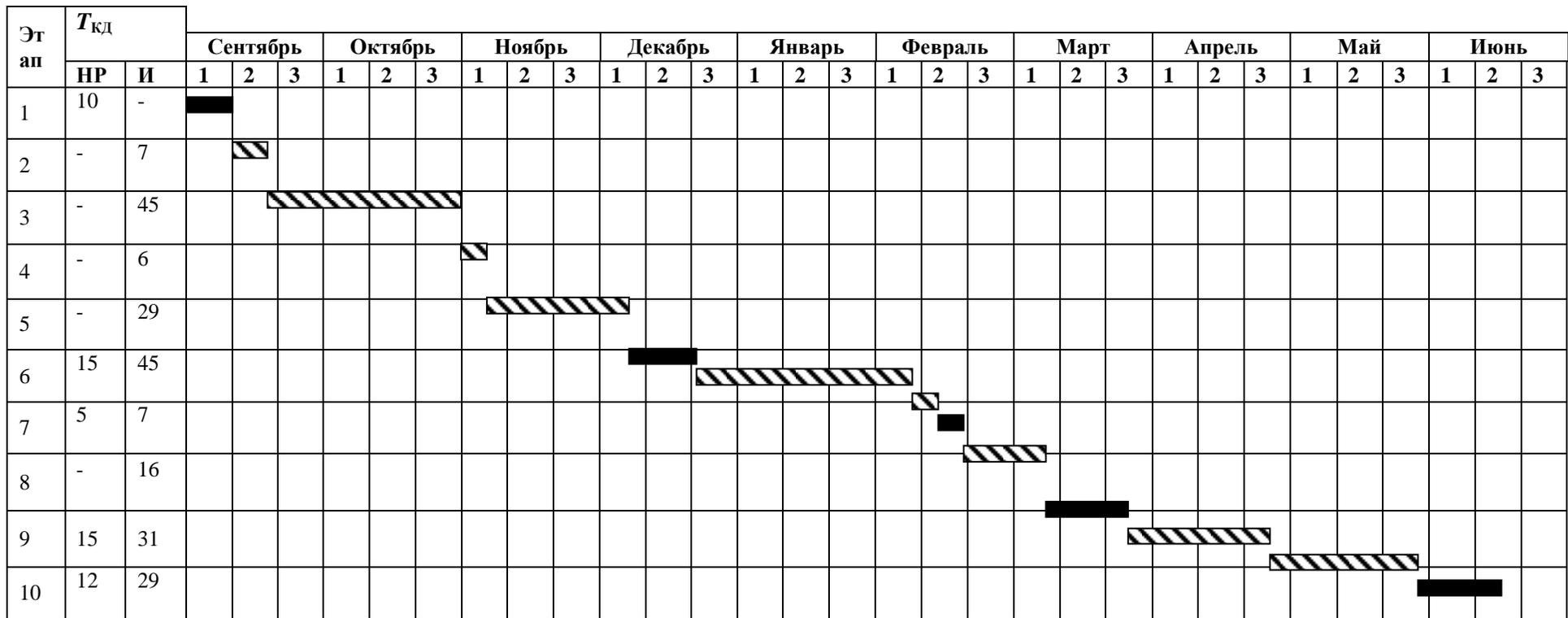
где T_{Ki} – продолжительность выполнения одной работы в календарных днях;

T_{ri} – продолжительность одной работы в рабочих днях;

$T_{кг}$ – количество календарных дней в году;

$T_{рд}$ – количество рабочих дней в году;

Таблица 4.11. Диаграмма Ганта



▨ - исполнитель

■ - руководитель

4.3.2. Бюджет НТИ

4.3.2.1. Сырье, материалы, покупные изделия

Стоимость всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ формируется исходя из приобретения и платы за транспортировку. Транспортно-заготовительные расходы принимаются в пределах от 3 до 5 % от цены материалов (в данной работе 3%). В том случае, если расходы, связанные с доставкой материальных ресурсов незначительны, то их можно опустить. Стоимость сырья, материалов, комплектующих изделий приведена в таблице 4.12.

Таблица 4.11. Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Количество	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Двухполярный источник питания, 24 В.	1	2800	2800
Ультразвуковой датчик	2	760	1520
Микроконтроллер	1	500	500
Радиоэлементы	1	420	420
Канцелярские принадлежности	1	170	170
Итого за материалы:			5410
Транспортные расходы:			270
Итого по статье:			5680

4.3.2.2. Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данный раздел включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения

работ по конкретной теме. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены.

Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле:

$$C_A = \frac{\Phi_{\text{пер}} N_a}{100\%}$$

Где $\Phi_{\text{пер}}$ - первоначальная стоимость оборудования;

N_a - норма амортизации.

Норма амортизации рассчитывается по формуле:

$$N_A = \frac{100\%}{T_{\text{сл}}}$$

Где $T_{\text{сл}}$ - срок службы оборудования, мес.

Таблица 4.12. Специальное оборудование для научных работ

№, п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц	$\Phi_{\text{пер}}$, тыс.руб.	$T_{\text{сл}}$, мес.	N_a , % в мес.	C_a в мес, тыс.руб.	Период реализации, мес.	C_a за весь период, тыс.руб.
1.	Осциллограф	1	140	60	1,67	2,34	10	23,4
2.	Мультиметр	1	0,65	36	2,78	0,018	10	0,18
3.	Генератор импульсов	1	52	60	1,67	0,87	10	8,7
Итого:								32,28

4.3.2.3. Основная заработная плата

В данную статью включается заработная плата всех лиц, участвующих в выполнении проекта, а также премии доплаты и дополнительная заработная плата.

Зарботная плата определяется по формуле:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная зарботная плата.

В свою очередь основная зарботная плата рассчитывается как:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_{раб},$$

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

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дней.

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

Среднедневная зарботная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m * M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

Таблица 4.13. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней выходные дни	52	52

Потери рабочего времени отпуск	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	250	250

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b * k_p$$

где Z_b – базовый оклад, руб;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска). Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.14.

Таблица 4.14. Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб.	$K_{пр}$	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	23264,86	1,3	30244,32	1258,16	57	71715,12
Исполнитель	4365	1.3	5674,5	181,6	218	39588,8

4.3.2.4. Дополнительная заработная плата персонала

Данная статья включает выплаты, предусмотренные законодательством о труде, эти выплаты составляют 10-15% от суммы основной заработной платы персонала, занятого реализацией проекта:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн}$$

Где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб; $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 16 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.15. Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	71715,12	39588,8
Дополнительная зарплата	7171,5	3958,8
Зарплата исполнителя	78886,62	43547,6
Итого по статье С _{зп}	122433,8	

4.3.2.5. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Итого 30% от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИР:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 * 122433,8 = 36730,14$$

4.3.2.6. Научные и производственные командировки

Данная статья расходов включает оплату командировок, связанных с выполнением проекта, в среднем эта сумма рассчитывается как 10% от основной и дополнительной заработных плат:

$$C_{\text{ком}} = k_{\text{ком}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

Где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент затрат на командировочные расходы.

$$C_{\text{ком}} = 0,1 * 122433,8 = 12243,38 \text{руб}$$

4.3.2.7. Накладные расходы

Данная статья расходов включает затраты на хозяйственное обслуживание и управление, содержание, эксплуатацию и ремонт оборудования, а также инвентаря. Данные расходы рассчитываются как:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$$

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

$$C_{\text{накл}} = 0,8 * 122433,8 = 97947,04 \text{ руб.}$$

По отдельным статьям затрат вычисляется плановая себестоимость НИР

Таблица 4.16. Калькуляция плановой себестоимости НИР

Наименование статей затрат	Сумма, руб
Сырье, материалы, покупные изделия	5680
Специальное оборудование для научных работ	32280
Заработная плата	122433,8
Отчисления на социальные нужды	36730,14
Научные и производственные командировки	12243,38
Накладные расходы	97947,04
Итого себестоимость НИР	307314,36

4.3.3. Реестр рисков проекта

Реестр рисков проекта включает в себя события несущие негативные последствия для проекта. Информация о рисках представлена в таблице 4.17

Таблица 4.17. Реестр рисков

№	Риск	Потенциально е воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения	Условия ухудшения
1	Прекращение финансирования	Снижение затрат на разработку проекта	3	5	в	Поиск дополнительног о финансирования	Изменение экономическо й ситуации в стране

2	Невостребованность разработки	Отсрочка реализации проекта	1	5	с	Изменение технических характеристик устройства	Ошибка в постановлении ТЗ
3	Устройство не прошло сертификацию	Отсрочка реализации проекта	2	4	с	Доработка аппаратной части устройства	Недостаточная проработка ТЗ

4.4. Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где I_{Φ} – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$$

Где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i - весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p - бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен в форме таблицы 4.18.

Таблица 4.18. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Средства радиолокационного зондирования	Средства инфракрасного зондирования
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,3	4	3	2
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	3	3
3. Помехоустойчивость	0,15	3	4	4
4. Энергосбережение	0,1	5	3	3
5. Надежность	0,2	3	4	4
6. Материалоемкость	0,1	5	3	3
Итого:	1	25	20	19

$I_1 = 4$ – интегральный показатель текущего проекта;

$I_2 = 3.35$ – интегральный показатель средств радиолокационного зондирования;

$I_3 = 3.05$ – интегральный показатель средств инфракрасного зондирования;

Из таблицы 4.18 видно, что интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта больше, чем у предлагаемых аналогов.

5. Социальная ответственность

Введение

В представленной магистерской диссертации разрабатывается измеритель толщины льда. Основным применением устройства является отслеживание вертикальных перемещений и прирост ледового покрова для параметризации интенсивности потоков газов в водоеме.

Возможными пользователями в будущем могут являться научно исследовательские предприятия, предметами исследования которых являются водоемы, установление связей между атмосферой и гидросферой, например Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

5.1 Производственная безопасность

Таблица 5.1. Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при проектировании и изготовлении измерителя толщины льда

Источник фактора, наименование видов работ	Ф а к т о р ы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ с измен. 1999 г.)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Монтаж печатного узла	Повышенный уровень электромагнитных излучений	Электрический ток, термическое травмирование	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
Изготовление корпуса	Недостаточная освещенность рабочей зоны	Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ; ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. СП 52.13330.2011
Разработка программного обеспечения	Монотонность труда, умственное перенапряжение	-	ГОСТ 12.2.032-78
Проведение	повышенный	-	ГОСТ 12.1.001-89

экспериментов	уровень ультразвука		ССБТ
---------------	------------------------	--	------

5.1.1 Электробезопасность

Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), помещение лаборатории относится к первому классу опасности, это сухое помещение без повышенного напыления, температура воздуха нормальная, пол покрыт изоляционным материалом.

Источниками опасности поражения электрическим током лаборатории можно считать: офисное оборудование (МФУ, ЭВМ), паяльную станцию, 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].

В данной работе угрозу поражения электрическим током представляет источник питания. Он имеет гальваническую развязку от сети переменного тока, для предотвращения соприкосновения с токоведущими частями источника помещен в изолированный корпус. Стенд должен иметь защитное заземление для защиты от статического электричества [ГОСТ 12.4.124-83]. Пол в непосредственной близости от стенда должен быть покрыт резиновыми ковриками.

Все сотрудники должны проходить первичный инструктаж по электробезопасности.

5.1.2 Термическое травмирование

Риск термического поражения тканей возникает при монтаже печатного узла, где основную опасность представляет паяльная станция, а так же элементы, подвергающиеся нагреву.

Для предотвращения термической травмы в ходе монтажа печатного узла, необходимо соблюдать технику безопасности. Работа с электрическим паяльником не безопасна — можно обжечься, так как медный стержень и кожух паяльника нагреваются до высокой температуры. Поэтому необходимо держать нагретый паяльник только за ручку и не касаться его нагретых частей. Кроме того, надо следить, чтобы нагретые части паяльника не касались изоляции питающего провода или шнура, так как горячий кожух или стержень могут вызвать разрушение изоляции, короткое замыкание и пожар.

При пайке электронных устройств, провода питания от них должны быть отсоединены, или выключатель должен быть двухполюсной (разъединяющий оба провода). Очень опасно паять электронную схему, выключенную, но соединенную с заземлением, в то время, как изоляция паяльника слабая или корпус паяльника не заземлен. Рабочие места должны обеспечиваться пинцетами или другими специальными инструментами, предназначенными для перемещения изделий из сплава, обеспечивающими безопасности при пайке. Во избежание несчастных случаев, весь персонал, работающий с установкой, проходит краткий инструктаж по технике безопасности.

5.1.3 Электромагнитное излучение (ЭМИ).

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]. Более мощным источником электромагнитных помех является источник питания. Поскольку для обеспечения генерации импульсов излучателя измерителя толщины льда излучаемые магнитные поля источником питания генератора имеют достаточно высокую интенсивность (от 10 кГц до 100 МГц). Наиболее оптимальным решением данной проблемы может быть экранирование установки, однако, ввиду наличия отверстий, в корпусе, необходимых для вентиляции, полностью экранировать излучение невозможно [ГОСТ 12.1.006-84].

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

- Предельно допустимые значения энергетической экспозиции по плотности потока энергии 200 мкВт/см^2
- Предельно допустимые уровни плотности потока энергии в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц при продолжительности воздействия от 2,5 часов и менее 80 мкВт/см^2
- Предельно допустимые нормы электромагнитного излучения при работе за ЭВМ представлены в таблице 5.2

Таблица 5.2 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 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 в лаборатории должны быть применены следующие меры защиты персонала от воздействия лазерного излучения:

1. Организационные мероприятия:

- должен быть выбран рациональный режим работы оборудования;
- время работы с установкой должно быть ограничено.

2. Инженерно-технические мероприятия:

- рациональное размещение оборудования;
- применение дополнительных средств, для ограничения распространения ЭМИ

3. Средства индивидуальной защиты: персонал должен работать в защитных очках и халатах.

5.1.4 Освещенность рабочей зоны

Плохое освещение утомляет не только зрение, но и вызывает утомление организма в целом. Неправильное освещение может быть причиной травматизма: плохо освещенные опасные зоны, слепящие лампы, резкие тени ухудшают или вызывают полную потерю зрения, ориентации.

Разработка измерителя толщины льда является работой средней точности с наименьшим размером объекта различения более 0,5мм. Разряд зрительной работы IV, подразряд б. Освещенность рабочей поверхности от систем общего

должна составлять не менее 200лк [СП 52.13330.2011]. Коэффициент пульсации ламп $K_{\text{п}}$ не должен превышать 20%. Коэффициент естественной освещенности должен составлять 2,4%.

5.1.5 Умственное перенапряжение. Статические перегрузки.

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.

5.1.6 Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования

При изготовлении корпуса разрабатываемого прибора необходимо учесть гидроизоляционные свойства, вентилируемые отверстия на корпусах составных частей, располагающихся внутри корпуса, экранирование корпуса. Для решения поставленной задачи необходимо использование слесарного станка, металлообрабатывающего станка, шлифовального станка и т.п.

Подвижными частями оборудования являются:

- подвижные столы и стойки станков;
- вращающиеся шпиндели с закрепленными в них заготовкой или инструментом;
- ходовые винты;
- передачи (ременные, цепные и др.) расположенные вне корпусов станков.

Источниками движущихся частей также являются транспортные устройства.

Основной величиной характеризующей опасность подвижных частей является скорость их перемещения. Согласно ГОСТ 12.2.009-80 опасной скоростью перемещения подвижных частей оборудования, способных травмировать ударом, является скорость более 0,15 м/с.

Движущиеся части оборудования представляют опасность травмирования рабочего в виде ушибов, порезов, переломов и др., которые могут привести к потере трудоспособности.

В соответствии с ГОСТ 12.2.003-74 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности» движущие части производственного оборудования, если они являются источником опасности,

должны быть ограждены, за исключением частей, ограждение которых не допускается функциональным их назначением.

Одним из важных условий безопасного труда является недоступность подвижных частей оборудования, для рабочего, в ходе технологического процесса.

Для этого проводят следующие мероприятия:

- Устанавливают защитные устройства (местные ограждения, крышки, кожуха и др.)..
- Крупногабаритные перемещающиеся части оборудования и транспортные устройства окрашивают чередующимися под углом 45° полосами желтого и черного цветов.
- На наружной стороне ограждений наносят предупреждающий знак опасности по ГОСТ 12.4.026-76.
- Устанавливают предохранительные и блокирующие устройства предотвращающие поломку деталей станков, самопроизвольное опускание шпинделей, головок, бабок, поперечен и др. частей.
- Устанавливают тормозные устройства обеспечивающие остановку шпинделя в течение не более 5 с. Для этого применяются колодочные тормозные устройства и торможение электродвигателя противовключением.
- При установке заготовок и снятии деталей применяются автоматические устройства (механические руки, револьверные приспособления и др.) для исключения соприкосновения рук станочников с движущимися приспособлениями и инструментом.
- Контроль на станках размеров обрабатываемых заготовок и снятие деталей для контроля проводится лишь при отключенных механизмах вращения или перемещения заготовок, инструмента и приспособлений.

5.1.7 Повышенный уровень ультразвука

Ультразвук — область акустических колебаний в диапазоне от 18 кГц до 100 МГц и выше.

Источником ультразвука является оборудование, в котором генерируются ультразвуковые колебания для выполнения технологических процессов, технического контроля и измерений, а также оборудования, при эксплуатации которого ультразвук возникает как сопутствующий фактор. В разрабатываемом приборе источником ультразвука служат ультразвуковые датчики.

По способу распространения ультразвуковых колебаний выделяют:

- Контактный способ - ультразвук распространяется при соприкосновении рук или других частей тела человека с источником ультразвука. Нормируемыми параметрами контактного ультразвука являются пиковые значения виброскорости или ее логарифмические уровни в децибелах в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000; 16000; 31500 кГц.
- Воздушный способ - ультразвук распространяется по воздуху. Нормируемыми параметрами воздушного ультразвука являются уровни звукового давления в децибелах в третьоктавных полосах со среднегеометрическими частотами 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100 кГц.

Требования по ограничению неблагоприятного влияния ультразвука на работающих:

- Запрещается непосредственный контакт человека с рабочей поверхностью источника ультразвука и с контактной средой.

- Для защиты рук от неблагоприятного воздействия контактного ультразвука в твердых, жидких, газообразных средах необходимо применять нарукавники, рукавицы или перчатки (наружные резиновые и внутренние хлопчатобумажные).
- При систематической работе с источниками контактного ультразвука в течение более 50% рабочего времени необходимо устраивать два регламентированных перерыва – десятиминутный перерыв за 1-1,5 часа до и пятнадцатиминутный перерыв через 1,5-2 часа после обеденного перерыва для проведения физиопрофилактических процедур (тепловых гидропроцедур, массажа, ультрафиолетового облучения), а также лечебной гимнастики, витаминизации и т.п.
- Для защиты работающих от неблагоприятного влияния воздушного ультразвука следует применять противошумы.
- Оборудование должно быть сертифицировано и пройти гигиеническую оценку.
- Защита от ультразвука включает в себя использование изолирующих корпусов и экранов, изоляцию излучающих установок, оборудование дистанционного управления, применение средств индивидуальной защиты.

5.2 Охрана окружающей среды

Согласно ГОСТ 17.2.1.01-76 не наносит вред окружающей среде. На этапе монтажа печатного узла используется свинец, содержащий в припое. Однако количество вещества, попадающего в атмосферу пренебрежимо мало. В случае необходимости конструктивные узлы устройства могут быть использованы повторно, а устаревшее или пришедшее в негодность оборудование списывается и утилизируется, как бытовые отходы. Обращение с люминесцентными лампами в лаборатории должен осуществлять специализированный персонал организации.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятным ЧС техногенного характера при разработке проектируемого прибора может быть пожар.

Поскольку в помещении лаборатории происходят работы, связанные с обработкой негорючих веществ и материалов в горячем состоянии, помещение по степени пожароопасности будет относиться к классу Г [Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" (с изменениями и дополнениями)].

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[]:

- для предохранения сети от перегрузок запрещается включать дополнительные не предусмотренные потребители;
- 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.

При разработке и исследовании прибора может возникнуть возгорание в электроустановке, находящейся под напряжением (пожар класса

Е). В связи с этим в помещении должны находиться воздушно-пенные или порошковые огнетушители (А,В), а также углекислотные или хладоновые огнетушители (Е)[НПБ 166-97].

В случае возникновения пожара необходимо применить все меры по ликвидации чрезвычайной ситуации. Прежде всего, с помощью электрического щита необходимо обесточить помещение. Активная борьба с пожаром производится огнетушителями различного наполнения, песком и другими негорючими материалами, мешающими огню распространяться и гореть. В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение.

Так же в помещении на потолках должны располагаться датчики системы пожарной сигнализации, которая, в случае повышения дымовой завесы до определенного порога, должна включать сигнал об эвакуации рабочего персонала из здания, также должен передаваться сигнал о возникновении угрозы пожара на пульт охраны.

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

Возможными ЧС природного характера на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы.

- Резервное энергосбережение.

Во многих регионах происходят случаи отключения электроэнергии, связанные с различными погодными явлениями или техногенными причинами. Автоматизированный генератор позволяет не допускать простоев производственного процесса. Наличие собственной резервной электростанции

поможет избежать убытков и порчи продукции, неизбежно возникающих при перебоях электропитания.

- Резервное отопление.

На многих предприятиях для обеспечения обогрева в помещении используют водяное или газовое теплоснабжение. На случай перебоев с центральной подачей газа или водяным отоплением, чтобы исключить простой предприятия, используется автономная газификация промышленных объектов.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.

В соответствии с трудовым законодательством условия работы при разработке, испытании и эксплуатации устройства не являются вредными и опасными, следовательно, компенсация сотрудникам не предусмотрена. Сотрудникам рекомендуется носить спец одежду и другие средства индивидуальной защиты и следовать мерам безопасности при проектировании и испытании разрабатываемого прибора, в остальное время данные меры защиты не требуются.

5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Большое значение в работе имеет организация рабочих мест сотрудников и создание благоприятных условий труда.

Работа в лаборатории обычно отличается малой двигательной активностью, монотонностью, длительным нахождением в закрытом помещении. Всё это вызывает быструю утомляемость и естественно отражается на результатах труда.

Рабочее место оператора при разработке устройства должно удовлетворять следующим требованиям [СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03].

- Площадь одного рабочего места должна составлять не менее 4,5м².

- Уровень шума на рабочих местах не должен превышать предельно допустимые значения.
- Освещенность рабочего стола должна составлять не менее 300-500лк.
- Экран видеомонитора должен находиться от глаз оператора на расстоянии 600 - 700мм.
- Поверхность стола должна иметь площадь не менее 1,5м².
- Рабочее кресло должно быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки
- Поверхность сиденья, спинки и других элементов кресла должна быть полумягкой, с нескользящим и воздухопроницаемым покрытием.

При этом ширина прохода в помещении должна составлять не менее 2м. Габариты мебели должны соответствовать размерам помещения. Помещение не должно быть загромождено [ГОСТ 12.2.032-78.].

Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определенной длительности непрерывной работы на ПК и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности.

Трудовая деятельность в лаборатории относится к категории В – творческая работа в режиме диалога с ПК, третья категория тяжести.

Количество и длительность регламентированных перерывов, их распределение в течение рабочей смены устанавливается в зависимости от категории работ на ПК и продолжительности рабочей смены. Так как рабочая смена составляет около 8 часов, то перерывы происходят через 1,5- 2,0 часа от начала рабочей смены и через 1,5-2,0 часа после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый [СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03].

Заключение

В ходе проведения исследований был разработан измеритель толщины льда, способный регистрировать момент образования и схода ледового покрова в прибрежной зоне; величину его прироста; вертикальные перемещения.

Был представлен фазовый метод измерения скорости нарастания льда. Также приведен алгоритм программы микроконтроллера, с помощью которого и осуществляются измерения. Реализована автоматическая подстройка частоты генерируемых импульсов.

При проведении анализа по теме диссертации на предмет возникновения вредных и опасных проявлений факторов производственной среды, предложены средства защиты. Анализ негативного воздействия на окружающую среду показывает, что существенного влияния не оказывается.

Список публикаций

1. Журавлев А.Е. Измеритель скорости нарастания льда // Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». Томск, 23-27 Мая 2016. - Томск: ТПУ, 2016

Перечень использованных источников

1. Лебедев Г.А., Парамонов А.И. Способ определения высоты снежного покрова на льду. Патент на изобретение № 2460968 от 10.09.2012
2. Шульгина, Юлия Викторовна. Повышение точности ультразвуковых измерений методом двух компараторов [Электронный ресурс] / Ю. В. Шульгина, А. И. Солдатов // Известия Южного федерального университета. Технические науки : научно-технический и прикладной журнал. — 2010. — Т. 110, № 9. — [С. 102-106].
3. Солдатов А.И. Определение временного положения акустического импульса методом аппроксимации огибающей сигнала. / Солдатов А.И., Сорокин П.В., Макаров В.С.// Известия Южного федерального университета. – Технические науки, 2009. – № 10. – с. 178-184.
4. Хмелев В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. — Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. — 203 с.
5. Богуш Михаил Валерьевич. Проектирование пьезоэлектрических датчиков на основе пространственных электротермоупругих моделей / Богуш М.В. ; Панич А.Е. (ред.). — М. : Техносфера, 2014. — 311 с.
6. Jan Kocbach. Finite element modeling of ultrasonic piezoelectric transducers.-University of Bergen Department of Physics.:September 2000
7. STM32F407VG / ST life. Augmented – Электрон. дан. - Режим доступа: <http://st.com> , свободный. – Загл. с экрана. – яз. англ.
8. Справочник по электрическим конденсаторам / М.Н. Дьяконов, В.И. Карабанов, В.И. Присняков и др.; Под общ. Ред. И.И.Четвертакова и В.Ф. Смирнова. – М.: радио и связь, 1983. – 576с.
9. Силовые полупроводниковые приборы: Справочник/О.Г. Чебовский, Л. Г. Моисеев, Р. П. Недошивин. – 2-у изд, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 400с.

10. Справочник/В. В. Дубровский, Д. М. Иванов, Н. Я. Пратусевич и др.; Под ред. И. И. Четвертакова и В. М. Терехова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1991. – 528с.

11. Балбашова Н.В. Миниатюрные импульсные трансформаторы на ферритовых сердечниках. М., «Энергия», 1976.

12. Солдатов А. И. Ультразвуковая аппаратура с волноводным акустическим трактом: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук : спец. 05.11.13 / А. И. Солдатов ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; науч. конс. Г. С. Евтушенко. — Томск, 2011. — 40 с. : ил.

Приложение П

Форма титульного листа приложения для раздела ВКР, выполненного на иностранном языке

Раздел 2

Разработка структурной и принципиальной схем измерителя толщины льда

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1АМ41	Журавлев Александр Евгеньевич		

Консультант кафедры ПМЭ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ПМЭ	Огородников Дмитрий Николаевич	К.Т.Н		

Консультант – лингвист кафедры (аббревиатура кафедры) :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель каф. ИЯФТИ	Мыльникова Татьяна Степановна			

Chapter 2. Development of Block and Circuit Diagrams for the Ice

Thickness Meter

2.1. Operating Principle of the Ice Thickness Meter

Researchers of hydrological processes in the littoral zone need to take into account an ice cover, including times of ice formation and break-up, in a broad range of their research problems. Ice movements are found to cause some changes in established daily and seasonal biological, chemical and physical rhythms of lakes. In fact, these are spontaneous phenomena. However, up to date, it has not been possible to record and describe fluctuations of an ice cover.

Therefore, there is a challenge to create a recording system which is capable to record times of ice formation and break-up, increase rate of an ice cover, and vertical movements.

In order to solve this task, it is reasonable to use ultrasonic echo sounding, with an ultrasonic transmitter and receiver of the recording system secured to the bottom of a water body and directed towards the water–ice interface. This approach has the following advantages:

1. The device can be located on the bottom throughout the year, as opposed to the ice surface installation option where the device can be installed only on a stable and strong ice cover.
2. When installed on the surface, the device melts out a part of the ice under it and become partially submerged. In this case, the transmitter poorly transmits the energy of an ultrasonic signal to the ice.
3. Moreover, measurement of a distance from the bottom of a water body to the bottom of the lower ice boundary eliminates errors caused by distortion and multipath associated with a strong temperature gradient across the thickness of the ice.

A disadvantage of the device is the need for a waterproof structure which is capable to withstand the relevant pressures. In our case, the installation depth does

not exceed 5 m, i.e. the excess pressure is around 0.5 atm. The electronic part can be waterproofed without using expensive technology and materials. It is also worth noting that a resonant frequency is deviated under water due to a pressure on the ultrasonic transducer. Therefore, automatic frequency control must be implemented.

A disadvantage of the approach is the sensitivity to vertical movements of the ice during tides. However, this problem can be solved by using a pressure sensor.

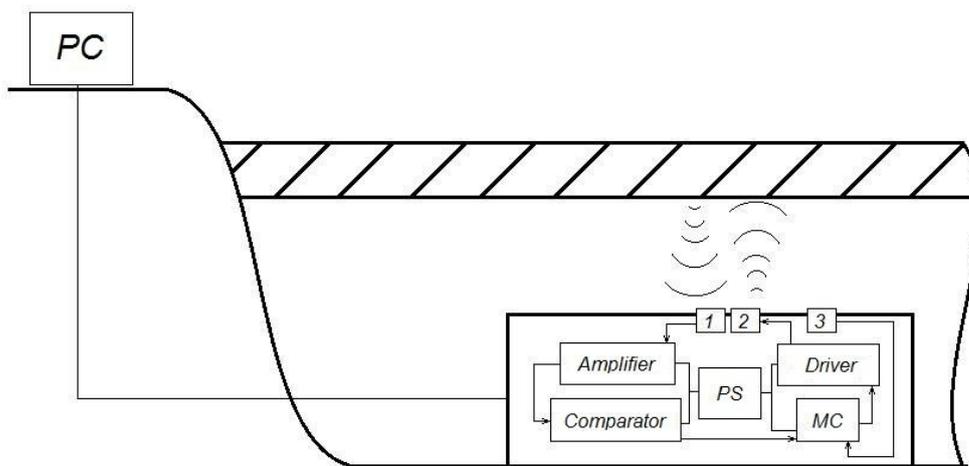


Figure 2.1. Schematic diagram of the ice thickness meter

1 — receiver, 2 — transmitter, 3 — temperature and pressure sensors, PS — power source, MC — microcontroller, PC — personal computer

Fig. 2.1 shows the proposed location of the meters in field conditions. The device is located on the bottom of a water body. The ultrasonic signal is reflected at the water–ice interface. The recording system is installed in a remote area.

2.2. Choice and Justification of the Block Diagram

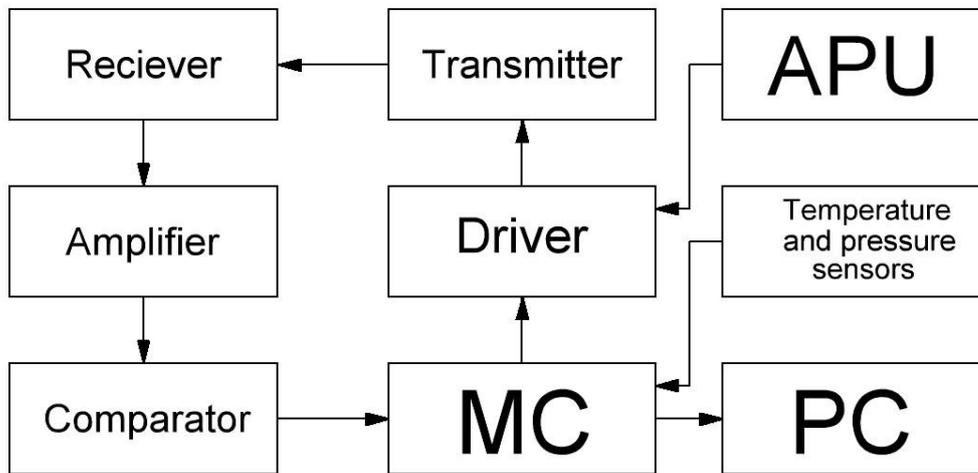


Figure 2.2. Block diagram of the ice thickness meter
MC — microcontroller; APU – auxiliary power supply unit

Ultrasonic sensors of MA40 series are used as a receiver / transmitter. The sensors of this series are waterproof, highly reliable, small-sized, highly sensitive, and energy-efficient. The ultrasonic sensors of MA40 series have a resonant frequency of 40 kHz and capable to detect the distance of up to 5 m. These parameters meet the tasks to be solved.

The microcontroller (MC) generates a burst of pulses to excite the ultrasonic transmitter. The driver is used to increase signal strength. An emitted signal is reflected from the lower ice boundary and recorded by the ultrasonic receiver. The amplifier is used in the circuit to increase amplitude of a received signal. The comparator in the circuit is required to record a reflected signal without various noises and interference. The STM32F4 microcontroller is designed for automatic frequency control of emitted pulses, calculation of vertical ice movements, and transmission of data to a PC. The temperature sensor is required to adjust for water temperature coefficient, which affects the velocity of ultrasound in the water environment. The pressure sensor is required to monitor the tide. Results are displayed on a PC.

2.3. Choice and Justification of the Circuit Diagram

2.3.1 Circuit Diagram of the Ultrasound Transmitter

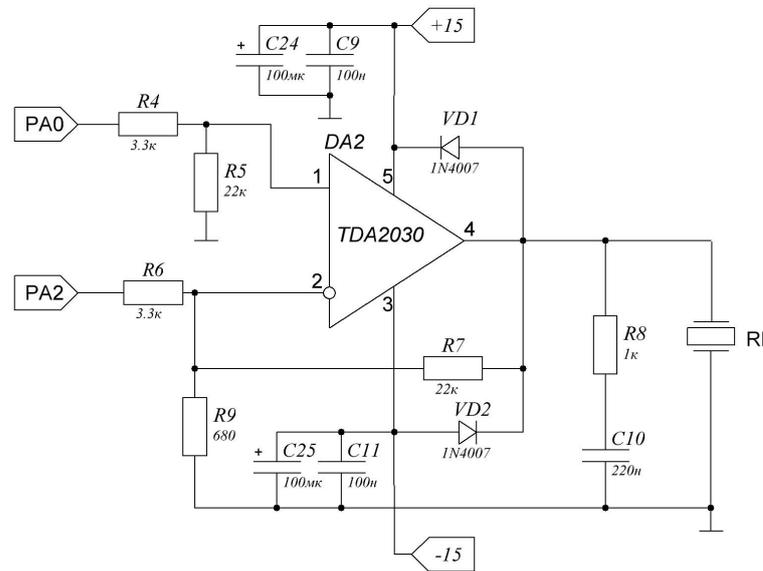


Fig. 2.3 Circuit diagram of the ultrasound transmitter
PA0, PA2 — microcontroller outputs

The diagram of the ultrasound transmitter is presented in Fig. 2.3. The ultrasound transmitter of MA40 series is used as the R1 transmitter in the circuit. The resonant frequency of the sensor is 40 kHz. Therefore, 25 μs pulses of both positive and negative polarity are generated at outputs of the PA0 and PA2 microcontrollers to excite the ultrasonic transmitter.

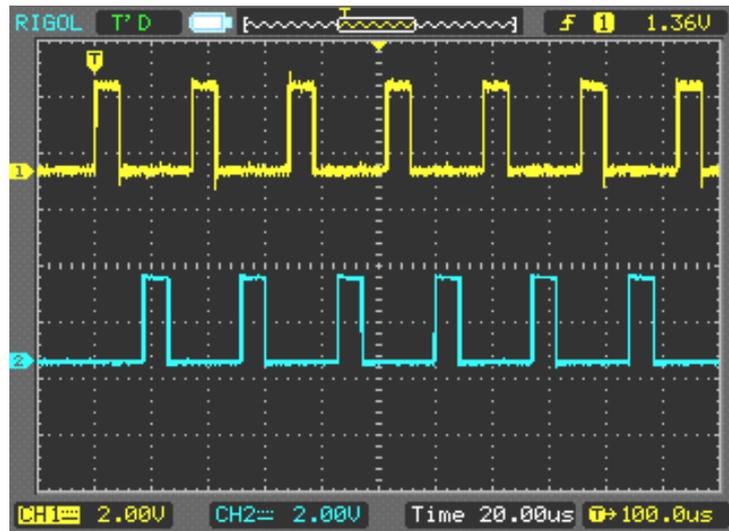


Figure 2.4. Diagrams of pulses generated by the microcontroller: top — from the PA0 output, bottom — from the PA2 output.

The TDA2030 chip is used to amplify the amplitude of the pulses generated by the microcontroller. It is a power amplifier of AB class which provides a large output current. It has small harmonic and intermodulation distortion, a wide frequency band of amplified signals, a very low noise floor, built-in short circuit protection of the output, and the automatic dissipated power limitation system that keeps a set point of output integrated-circuit transistors in a safe area. The microcircuit has a bipolar power supply $\pm 15V$ provided by the auxiliary power supply unit. C_9 , C_{11} , C_{24} , C_{25} capacitors are used for noise filtering.

Select C_9 , C_{11} , C_{24} , C_{25} capacitors from a reference book:

C_9, C_{11} - CC0805KRX7R8BB104 - ceramic chip capacitor, nominal capacity of 0.1 mF, the operating voltage of 25V.

C_{24}, C_{25} - EEEFK1E101XP - electrolytic chip capacitor, , nominal capacity of 100 mF, the operating voltage of 25V.

C_{10} - CC0805KRX7R7BB224 - ceramic chip capacitor, nominal capacity of 0.22 mF, the operating voltage of 25V.

VD₁ and VD₂ diodes are used for protecting the device against output voltage surges. In accordance with the documentation for the TDA2030 chip, the following requirements are applicable to the diodes: I_{direct} = (0.5÷1) A; U_{reverse} >100 V.

Select VD₃ – VD₆ diodes from a reference book: 1N4007 is the rectifier diode, maximum direct current = 1 A, maximum reverse voltage = 1,000 V.

Gain is defined by resistors R7 and R9.

Select R7, R9 resistors from a reference book:

R₄,R₆ - CR0805-JW-332ELF - chip resistor 0.125Wt, the nominal resistance 3.3kOm.

R₅,R₇ - RC0805JR-0722K - chip resistor 0.125Wt, the nominal resistance 22kOm.

R₈ - CRCW1201KFKEA – chip resistor 0.125Wt, the nominal resistance 1kOm.

R₉ - B54102A1681J60 - chip resistor 0.125Wt, the nominal resistance 680Om.

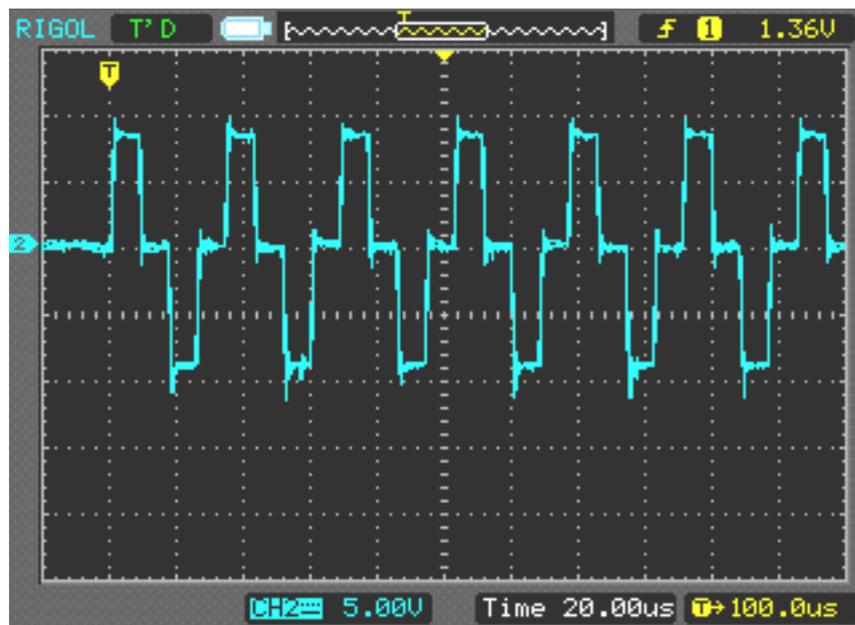


Figure 2.5. Signal at the output of the DA2 amplifier

The signal received at the amplifier output is presented in Fig. 2.5.

Other considered circuit diagrams have some disadvantages. For example, the resonance control circuit is powered by low voltages which increase the excitation time of the transmitter. The transformer circuit diagram requires selection of a control signal frequency and does not enable to change a frequency.

2.3.2. Auxiliary Power Supply Unit

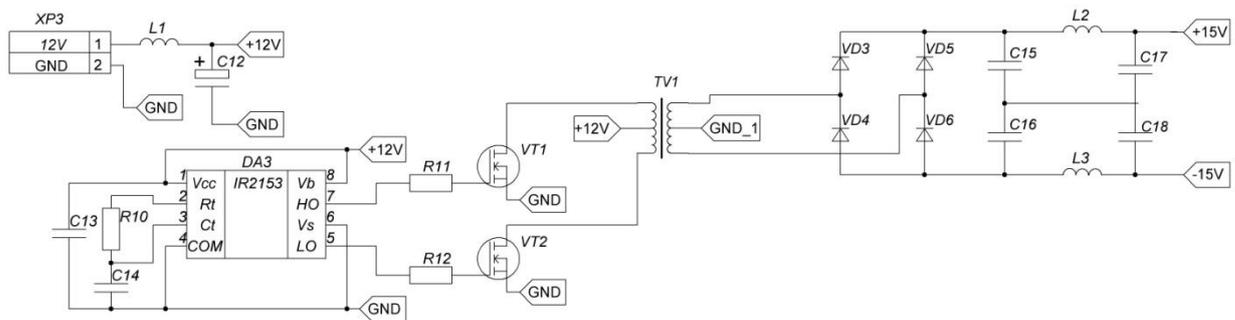


Figure 2.4. The circuit diagram of the auxiliary power supply unit (APU)

The circuit with the L_1 inductor and the C_{12} electrolytic capacitor is required to protect the operation against an external power supply unit connected through the XP_3 connector.

The capacitor is ceramic, with the standard capacitance of $1 \mu\text{F}$ and the standard inductance of $100 \mu\text{H}$.

Select C_{12} , L_1 from a reference book:

C_{12} : CC0805ZRY5V - ceramic chip capacitor, nominal capacity of 1 mF , the operating voltage of 25V .

L_1 : RLB0914-101KL - coil, nominal inductance of $100\mu\text{H}$, 1A maximum DC current, resistance 0.28Ω , the quality factor of 30 .

The $VD_3 - VD_6$ diodes of this source are rectifiers. They convert the signal coming from the secondary winding of the TV_1 transformer.

Select VD_3 , VD_4 , VD_5 , VD_6 diodes from a reference book:

VD_3 , VD_4 , VD_5 , VD_6 : SS16 - high-speed Schottky diodes, the maximum voltage on the diode- 60V , maximum current of 1A .

The signal smoothing circuit is required to eliminate high-frequency noise at the output of the auxiliary power supply unit. It is implemented using a circuit consisting of capacitors and inductors: $C_{15} - C_{18}$ and $L_2 - L_3$, respectively. Assume that capacitances are equal to 4.7 F; inductances are equal to 100 μ H.

Select $C_{15}, C_{16}, C_{17}, C_{18}, L_1$ from a reference book:

$C_{15}, C_{16}, C_{17}, C_{18}$ - CC0805ZRY5V - ceramic chip capacitor, nominal capacity of 4.7 mF, the operating voltage of 25V.

L_1 : RLB0914-101KL - coil, nominal inductance of 100uH, 1A maximum DC current, resistance 0.28Om, the quality factor of 30.

Calculate the power of the TV_1 step-up transformer:

The secondary winding power of the transformer is equal to

$$P_2 = P_{\Sigma \text{power DA}}, P_2 \approx 3 \text{ W}$$

Assuming that the transformer efficiency is 95%, determine the primary winding power:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}; P_1 \approx 3.2V$$

The primary winding voltage of the transformer is 12 V:

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1}; I_1 \approx 300mA$$

Assume that the conversion frequency of the inverter is equal to 80 kHz.

Calculate the power of the TV_1 transformer.

The average power-to-size ratio of the transformer is equal to:

$$P_{Avr} = \frac{P_1 + P_2}{2};$$

$$P_{Avr}=3.1W$$

Choose 1500HM3 ferrite as a material of the core:

$$S_{st}S_{ok} = \frac{P}{fB_mjK_{ok}K_{st}}; S_{st}S_{ok} = 4.2 * 10^{-10}m^4$$

Take $S_{st}S_{ok}$ above the calculated value (due to double number of windings):

K20x12x6

Select the required parameters from the reference book [12]:

$$S_{st}S_{ok} = 0.12sm^4; S_{st} = 0.25sm^2; S_{ok} = 0.785sm^2; l_{avr} = 2sm)$$

Calculate the number of coils in the primary winding of the transformer:

$$W_1 = \frac{U_1}{B_mK_{st}S_{st}f}; W_1 = 20$$

$$n = \frac{U_2}{U_1}; n = 1; \text{ then:}$$

$$W_3 = W_2 = nW_1; W_3 = W_2 = 20$$

$$S_{pr1} = \frac{I_1}{j}; S_{pr1} = 0.1mm^2$$

$$S_{pr2} = \frac{I_2}{j}; S_{pr2} = 0.1mm^2$$

$$S_{pr3} = \frac{I_3}{j}; S_{pr3} = 0.1mm^2$$

$$K_o = \frac{2S_{pr1}W_1 + 2S_{pr2}W_2 + 2S_{pr3}W_3}{S_{ok}}; K_o = 0.152 < 0.3$$

Choose the transistors:

VT1, VT2: IRFL014 - MOSFET transistors, $U_{dsmax} = 60V$, $U_{gsmax} = 10V$, $I_{smax} = 1.7A$, $T_{chmax} = 150^\circ C$.

In order to limit their control current, standard R_{11} and R_{12} resistors with a rated resistance of $1 k\Omega$ are used. Select R_{11} , R_{12} resistors from a reference book:

R_{11}, R_{12} - CRCW1201KFKEA – chip resistor 0.25Wt, the nominal resistance 1kOm.

The transistors are controlled by the IR2153 microcircuit (DA₃). It generates a pair of antipodal signals with a time delay between them (dead time), which makes it possible to control half-bridge inverters.

In order to ensure the operation of the IR2153 microcircuit with the frequency of 80 kHz, the following components are required (in accordance with the engineering documentation for the IR2153 microcircuit):

$C_{13} = 1\text{nF}; C_{14} = 470\text{pF}; R_{10} = 20\text{kOm};$

C_{13}, C_{14} : C1206C475K3RACTU - 25V capacitor voltage and capacity 4.7mkF.

R_{10} : CRCW1201KFKEA - chip resistor 0.25W, the nominal resistance 20kOm.

2.3.3. Circuit Diagram of the Ultrasound Transmitter

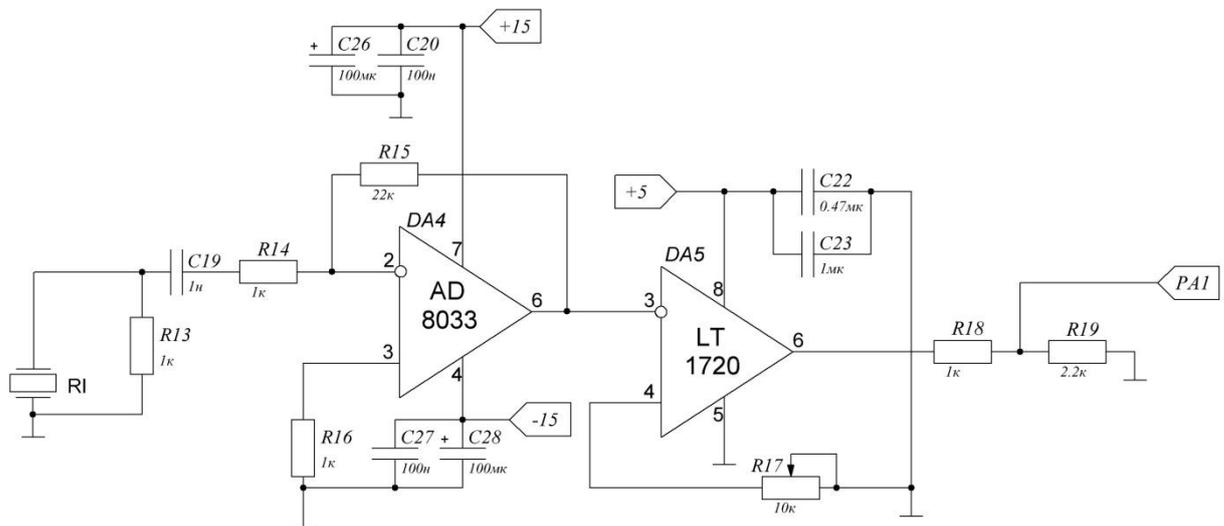


Figure 2.5. Circuit Diagram of the Ultrasound Transmitter

The receiver portion includes the ultrasound sensor of MA40 series, the AD8033 operational amplifier, and the LT1720 comparator. AD8033 is the operational amplifier (OA) with voltage feedback and an input stage based on field effect transistors. It has a low noise level ($11 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$) and high-speed performance

(bandwidth = 80 MHz, rate of rise = 80 V/ μ s). The gain is determined by the R15 and R14 resistors.

Select R_{14} , R_{16} resistors from a reference book:

R_{14} , R_{16} - CRCW1201KFKEA – chip resistor 0.25Wt, the nominal resistance 1k Ω .

R_{15} - RC0805JR-0722K - chip resistor 0.25Wt, the nominal resistance 22k Ω .

The C20, C26, C27 and C28 capacitors are used to filter out noise from a power supply source.

Select C_{20} , C_{28} , C_{26} , C_{27} the capacitors from reference book:

C_{20} , C_{28} - CC0805KRX7R8BB104 - ceramic chip capacitor, nominal capacity of 0.1 mF, the operating voltage of 25V.

C_{26} , C_{27} - EEEFK1E101XP - electrolytic chip capacitor, , nominal capacity of 100 mF, the operating voltage of 25V.

Fig. 2.6 presents the signals from the output of the operational amplifier.

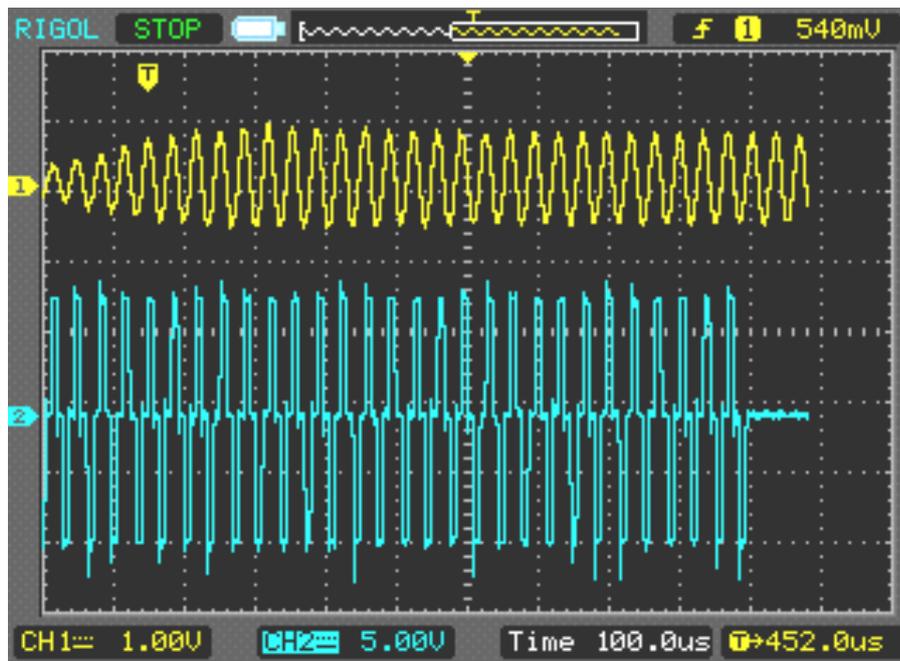


Figure 2.6. Diagrams of signals: the 1st channel – from the OA output, the 2nd channel – from the transmitter.

A signal from the OA output comes to the comparator which records the time at which a received signal passes through 0. The signal from the comparator output is reduced through the $R_{18} - R_{19}$ resistive divider to 3.3 V and comes to the capture timer of the microcontroller.

Capacitors (C_{22}, C_{23}) are required to filter noise from source power.

C_{22} - EEEHA1HR47R - electrolytic chip capacitor, , nominal capacity of 0.47mF, the operating voltage of 50V.

C_{23} - RPEE41H105M3 - ceramic chip capacitor, nominal capacity of 1 mF, the operating voltage of 50V.

Fig. 2.7 presents the signals from the output of the comparator.

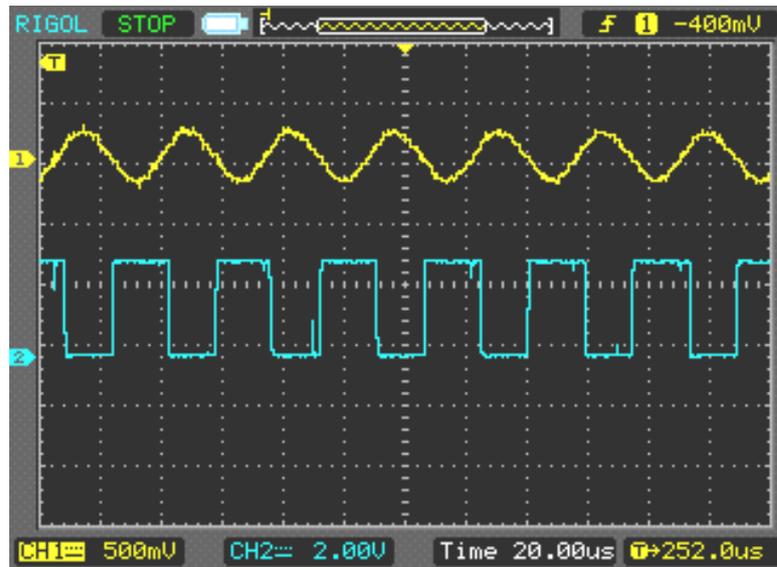


Figure 2.7 Diagrams of signals: the 1st channel – from the OA output, the 2nd channel – from the output of the comparator.

2.3.4. Control System

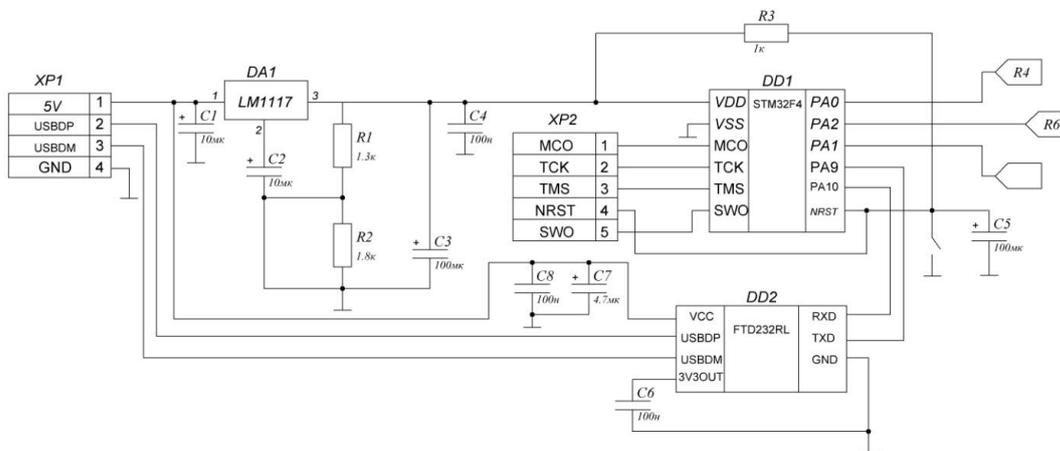


Fig. 2.8. Circuit diagram of the control system

The control system is based on the STM32F4 microcontroller. This microcontroller is designed to generate pulses for exciting the ultrasound generator, ensure automatic frequency control, measure a change in the ice accumulation rate, and transfer data to a PC. The operation algorithm of the microcontroller is described in detail in Chapter 3.1.

The circuit is provided with a USB connector (XP₁) for data transfer and power supply to microchips (+5B). The STM32F4 microcontroller needs +3.3 V power supply. This is why the LM1117 linear voltage regulator is used in the circuit. The output voltage is regulated by the R₁ and R₂ resistors and can be calculated by the formula: $U_{out} = 1.25 * (1 + \frac{R_2}{R_1})$. The maximum load current of the voltage regulator is equal to 800 mA, which is sufficient for STM32F4.

R₃ is a current-limiting resistor. The C₅ capacitor is designed to protect the device against bounce.

Select R₁, R₂, R₃ resistors from reference book:

R₁ – CRCW08051K80FKEA - chip resistor 0.25Wt, the nominal resistance 1.8kΩ.

R₂ – CRCW08051K30FKEA - chip resistor 0.25Wt, the nominal resistance 1.3kΩ.

R₃ – CRCW1201KFKEA – chip resistor 0.25Wt, the nominal resistance 1kΩ.

Select C₁- C₈ capacitors from a reference book:

C₄, C₆, C₈ - CC0805KRX7R8BB104 - ceramic chip capacitor, nominal capacity of 0.1 mF, the operating voltage of 25V.

C₃, C₅ - EEEFK1E101XP - electrolytic chip capacitor, , nominal capacity of 100mF, the operating voltage of 25V.

C₇ - GRM31CR71E475KA88L - ceramic chip capacitor, nominal capacity of 4.7 mF, the operating voltage of 25V.

C₁, C₂ - EEEFC1V100R - electrolytic chip capacitor, , nominal capacity of 10mF, the operating voltage of 35V.

The microcontroller is programmed through the XP₂ connector. Measurement data are transferred to a PC through UART. The device is communicated to a PC through USB. Therefore, the USB-UART converter based on the FTD232RL microcircuit is required for data transfer.

Приложение 1. Принципиальная схема устройства.

Приложение 2. Принципиальная схема устройства.