

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»
Отделение электронной инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Устройство для тональной аудиометрии

УДК 616.28-072.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Д41	Пищулина Дарья Павловна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Торгаев С. Н.	к. ф-м. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Николаенко В.С.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фокин А.В.	к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 92 с., 29 рис., 26 табл., 33 источников, 3 прил.

Ключевые слова: аудиометр, тональная аудиометрия, объективная аудиометрия, TDH39.

Объектом исследования является тональный аудиометр.

Цель работы – разработать портативный тональный аудиометр.

В процессе исследования проводились разработка структурной схемы прибора, выбор элементной базы, составление электрической принципиальной схемы, написание управляющей программы для микроконтроллера. Для проверки работоспособности конструкции и замера основных параметров был создан макет прибора.

Основными функциональными узлами прибора являются:

Задающий перестраиваемый генератор синусоидального сигнала, выполненный на интегральной схеме AD9833, реализующей процесс прямого цифрового синтеза.

Регулятор уровня, выполненный на интегральной схеме AD8400, представляющей собой переменный резистор, который позволяет получить 512 уровней выходного сигнала.

Коммутатор каналов на полевых транзисторах, позволяющий подать сигнал на правый или левый канал.

Усилитель мощности для головных телефонов, выполненный на интегральной схеме TPS7A4901, имеющей низкие нелинейные искажения и позволяющей получить на выходе сигнал достаточной для подключения головных телефонов мощности.

Система питания выполнена на интегральной схеме L6920DB, позволяющей получить стабилизированное питание в широком диапазоне питающих напряжений и имеющей КПД до 98%.

В качестве управляющего устройства используется микроконтроллер ATMEGA128AU, обладающий достаточным для выбранной задачи объёмом памяти, быстродействием и энергопотреблением.

Для отображения информации применён цветной жидкокристаллический индикатор ULCD24PTU с разрешением 240x380 точек.

Область применения: тональный аудиометр применяется в медицинских учреждениях для измерения слуховых порогов, а также для настройки слуховых аппаратов.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в замене дорогостоящих аудиометрических наушников на более доступную модель TDH39.

В будущем планируется реализация связи с ПК, а также увеличение диагностических возможностей прибора, таких как введение регулируемого фазового сдвига между каналами и наложение различных видов шумового сигнала, что значительно расширит эксплуатационные возможности прибора.

Планируемые результаты обучения

Код резул ь-тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>общепрофессиональные и профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте биомедицинской и экологической техники
P2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
P3	Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области биотехнических систем и медицинской техники
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере биотехнических систем и технологий, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с

	делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Сокращения

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика
ЭЭГ – электроэнцефалография
ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь
ОЗУ – оперативное запоминающее устройство
ФНЧ – фильтр низких частот
УМ – усилитель мощности

Нормативные ссылки

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. СанПиН 2.2.4-548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
2. СП 52.13330.2011 «Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*»
3. ГОСТ 12.1.003-83 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности»
4. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
5. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»
6. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
7. ГОСТ 6825-91 «Лампы люминесцентные трубчатые для общего освещения»
8. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ «Оборудование производственное. Общие требования безопасности»
9. ГОСТ 12.1.030-81 «Защитное заземление, зануление»
10. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
11. ГОСТ 17.2.1.01-76 «Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу»

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	11
ГЛАВА 1. ОБЗОР МЕТОДИК АУДИОМЕТРИИ И АУДИОМЕТРОВ.....	12
1.1 Основные принципы тональной аудиометрии	12
1.2 Пошаговая методика выполнения тональной аудиометрии	15
1.3 Речевая аудиометрия	22
1.4 Надпороговая аудиометрия	23
1.5 Обзор аудиометров	24
1.6 Обзор аудиометрических наушников.....	31
1.7 ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ	34
ГЛАВА 2. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ И ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМ.	36
2.1 Разработка структурной схемы аудиометра	36
2.2 Расчет и выбор элементов электронной схемы аудиометра	38
2.2.1 Генератор сигнала	38
2.2.2 Выбор фильтрующей системы	39
2.2.3 Разработка регулятора уровня сигнала.....	41
2.2.4 Блок усиления.....	41
2.2.5 Блок питания электронной схемы.....	45
2.2.6. Блок вывода информации	46
2.3 ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ	47
ГЛАВА 3. АЛГОРИТМ РАБОТЫ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА	48
3.1 ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ.....	50
ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАКЕТНОЙ ПЛАТЫ АУДИОМЕТРА	51
4.1. Иллюстрация работы схемы	51
4.2 Генерация и фильтрация сигнала	52
4.2 Изменение значения частот	52
4.3 Вывод по четвертой главе.....	54

ГЛАВА 5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	56
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	56
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	56
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	56
5.1.3 SWOT-анализ.....	58
5.2 Планирование научно-исследовательских работ	63
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	63
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	65
5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	66
ГЛАВА 6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	70
Введение	70
6.1 Производственная безопасность	71
6.1.1 Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	72
6.1.2 Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	79
6.1.2.2 Термическая безопасность.....	81
6.1.3 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования.....	82
6.2 Экологическая безопасность.....	83
6.2.1 Анализ влияния объекта на окружающую среду	83
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	84
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	85
6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	85
6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	85
Заключение.....	87
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ	88

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»
Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Д41	Пищулина Дарья Павловна

Тема работы:

Устройство для тональной аудиометрии	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Разработать тональный аудиометр. Устройство должно включать кнопку запуска и кнопку отклика пациента. При проектировании принципиальной схемы предусмотреть разъем для программирования микроконтроллера. Реализовать связь устройства с ПК. Обеспечить запуск и сброс устройства с ПК. Передавать в ПК значение результатов исследований. Исходные данные: - источник питания: 3В, 2А; - микроконтроллер ATMEGA128AU
---	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	- Литературный обзор методик аудиометрии, аудиометров, аттенуаторов и аудиометрических наушников; - разработка структурной и принципиальной схем; - программа для микроконтроллера ATMEGA128AU, реализующая генерацию синусоидального сигнала, управляющая цифровым резистором, фиксирующая нажатия на кнопку; - разработка макета; - экспериментальное исследование работы схемы.			
Перечень графического материала	- Структурная схема аудиометра; - принципиальная схема аудиометра; - экспериментальные осциллограммы.			
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы				
Раздел	Консультант			
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич			
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна.			
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику				
Задание выдал руководитель:				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Торгаев С. Н.	Кандидат физико-математических наук		
Задание принял к исполнению студент:				
Группа	ФИО	Подпись	Дата	
1Д41	Пишулина Дарья Павловна			

Введение

Аудиометрией называют процесс исследования остроты слуха, и определение чувствительности слухового аппарата к звуковым волнам разной частоты. Для проведения данного исследования использую акустический прибор – аудиометр. Этот прибор позволяет оценить пороги восприятия звука в диапазоне частот от 125 Гц до 8 кГц, построить аудиограмму и при необходимости настроить слуховой аппарат.

Актуальность разработки аудиометров обоснована высокой заболеваемостью слухового анализатора как у людей старшего поколения, так и детей. Так, согласно данным сайта Федеральной службы государственной статистики России на 2014 год г. количество лиц, признанных инвалидами с по слуху составляет 190 тысяч человек. Диагностика – самый важный этап процесса восстановления организма человека, поскольку на ранней стадии заболевания наиболее вероятен успех терапии.

На сегодняшний день аудиометрия широко используется для оценки состояния слуха пациентов в поликлиниках, амбулаториях, медпунктах, МСЧ, приемных отделениях больниц и госпиталей, сурдокабинетах и сурдоцентрах.

Существует множество субъективных и объективных методик определения остроты слуха. В нашей работе мы поставили цель – реализовать портативный тональный аудиометр, поскольку тональная аудиометрия является базовой методикой и используется во всех сложных приборах для исследования слухового анализатора.

Глава 1. Обзор методик аудиометрии и аудиометров

1.1 Основные принципы тональной аудиометрии

Тональная пороговая аудиометрия служит для определения слуховых порогов на разных частотах. Как правило, частотный диапазон составляет 125 – 8000 (10000) Гц [1]. Этот диапазон соответствует речевым частотам, поэтому он имеет первостепенное значение в исследовании слуха. Когда определяются пороги по воздушному звукопроведению, пациенту предъявляют чистый тон одной частоты (обычно начинают с частоты 1000 Гц) при каждом исследовании. Начальная интенсивность должна быть легко идентифицируемой для испытуемого.

Постепенно уровень интенсивности тона снижается с шагом в 10 дБ до исчезновения его восприятия. Затем уровень интенсивности стимула повышается с шагом в 5 дБ до возникновения слухового ощущения. Для более точного определения порогов эти операции повторяются.

В аудиометрии по костной проводимости тестовый сигнал воспроизводят воздействием костного осциллятора на сосцевидный отросток или на лобную кость испытуемого [2].

Значения порогов наносятся на бланк аудиограммы. По горизонтали фиксируется частота тона в герцах. По вертикали – интенсивность тона в децибелах относительно средних нормальных порогов слуха, принятых за ноль. Кривые воздушного звукопроведения изображают сплошной линией, кривые костного проведения – пунктиром. Пороги правого и левого уха обычно обозначают одним цветом, в иностранной литературе: правого – красным цветом, левого – синим.

Аудиограмма дает фундаментальное описание слуховой чувствительности. Согласно международной классификации тугоухости, для расчета степени поражения слуха требуется сложить 4 величины – наименьшую слышимую интенсивность звука на 500, 1000, 2000 и 4000 Гц и

поделить на 4, чтобы получить среднее арифметическое значение по формуле [3]:

$$I = \frac{I(500) + I(1000) + I(2000) + I(4000)}{4}$$

Выбор именно этих частот обоснован тем, что они являются основными речевыми частотами. По рассчитанному среднему значению определяют степень тугоухости в соответствии с таблицей 1.1. Аудиограмма позволяет не только определить степень тугоухости, но и тип патологии: сенсоневральный, кондуктивный или смешанный.

Таблица 1.1 – Степени тугоухости

Степень	Пределы нарушения, дБ
I	26–40
II	41–55
III	56–70
IV	71–90
Зона глухоты	> 91

Помимо степени тугоухости с помощью аудиограммы можно определить, к какому типу относится патология.

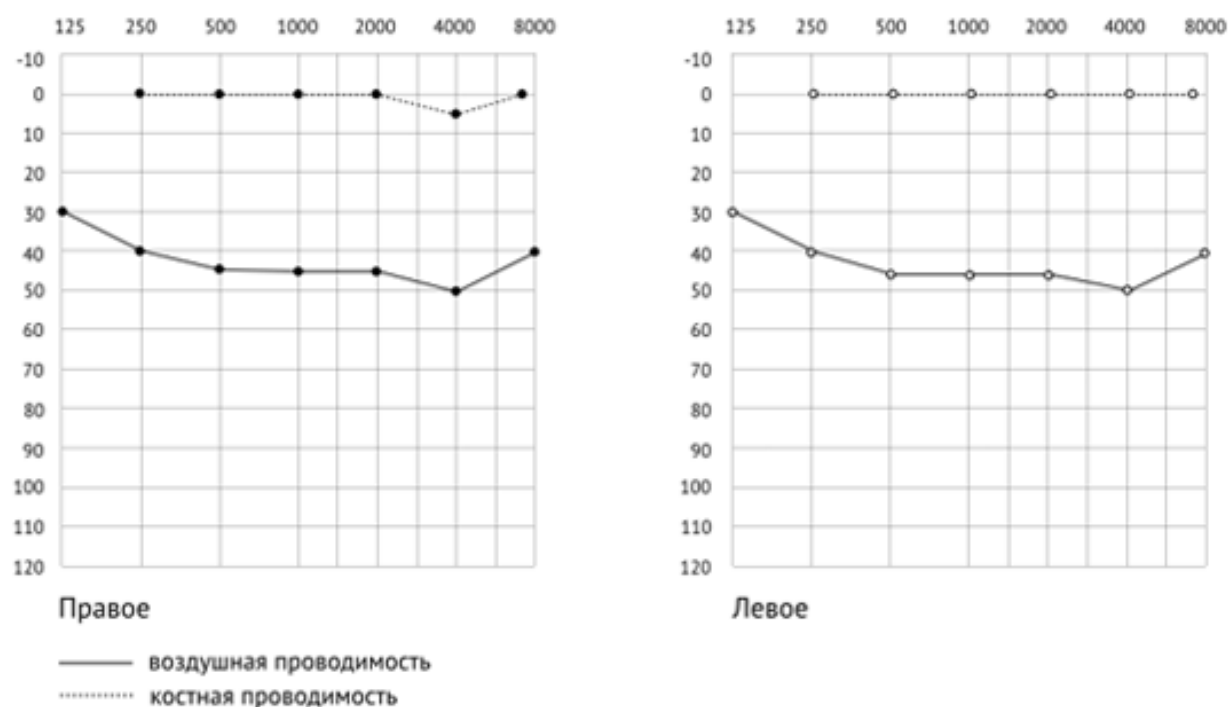


Рис. 1.1 – Аудиограмма пациента с двусторонней кондуктивной тугоухостью

На рисунке 1.1 представлены типичные примеры кондуктивной тугоухости: костное звукопроведение в пределах нормы (0-25дБ), а воздушное нарушено, имеется костно-воздушный интервал [2].

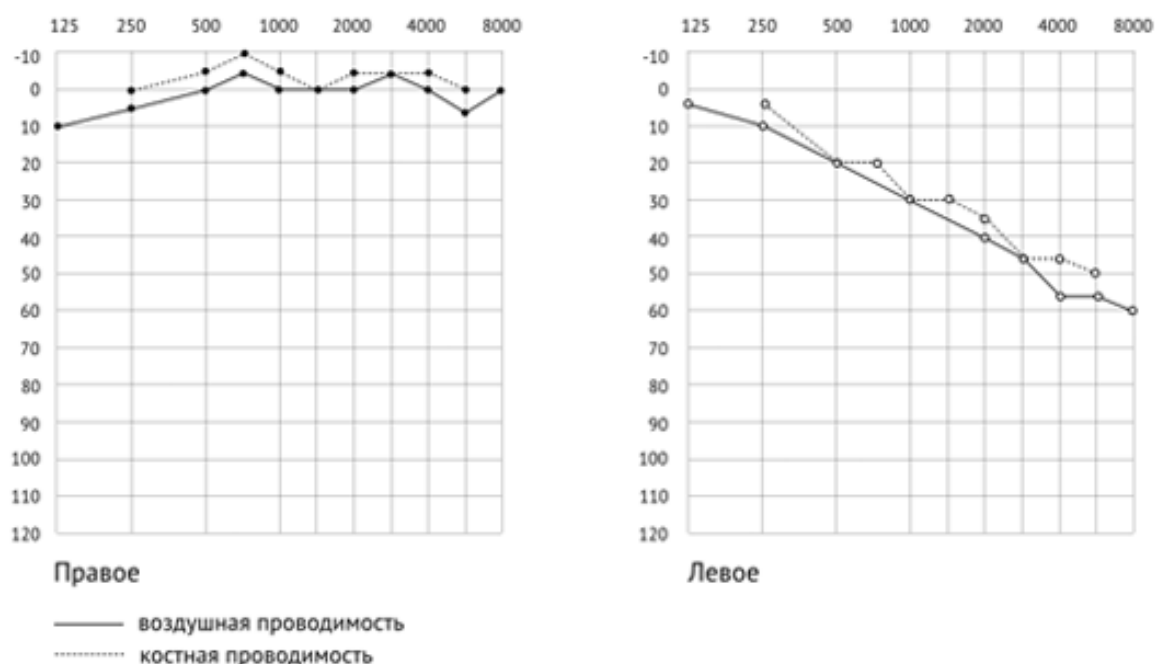


Рис. 1.2 – Аудиограмма пациента с сенсоневральной тугоухостью слева, правое ухо в норме

Примером сенсоневральной тугоухости является рисунок 2. На нем видно, что костная проводимость повторяет воздушную [2].

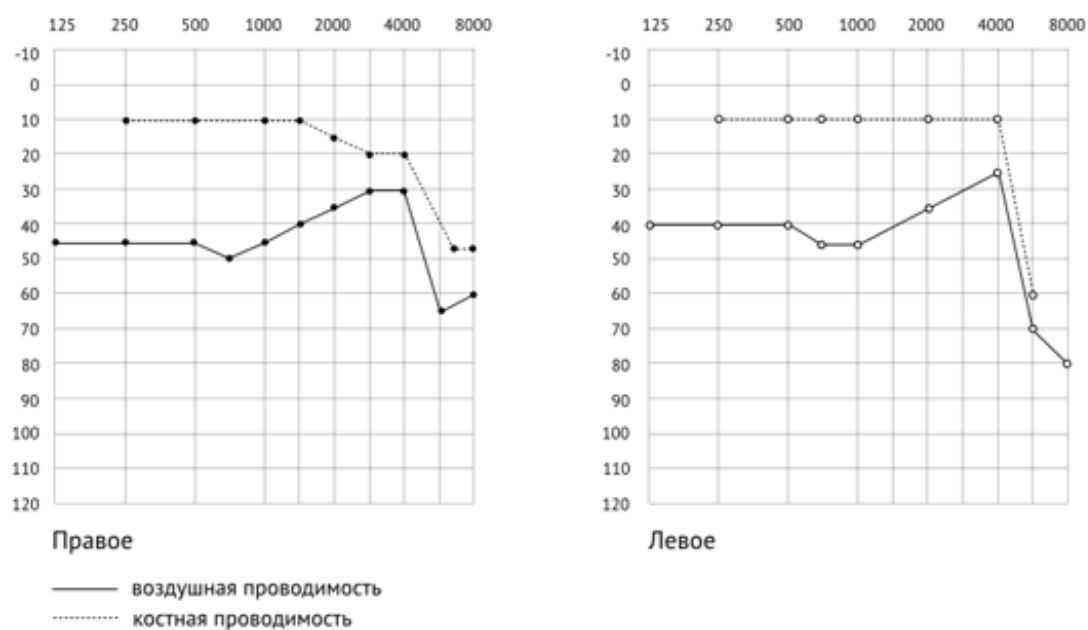


Рис. 1.3 – Нарушения воздушного и костного звукопроведения

На рис. 1.3 представлена аудиограмма тугоухости смешанного типа, т.к. присутствуют нарушения как воздушного, так и костного звукопроводения [2].

1.2 Пошаговая методика выполнения тональной аудиометрии

Пошаговая методика наиболее полно представлена в стандарте [3].

Условия проведения испытаний заключаются в следующем. Помещение, где проходит тестирование, должно быть звукоизолированным. Аудиометрист должен постоянно держать испытуемого в поле зрения. Если испытания проводят вне специально оборудованного помещения, то визуальный контроль за испытуемым осуществляют через окно или посредством внутренней телевизионной системы. Аудиометрист должен также иметь речевую связь с испытуемым для контроля его действий. Рекомендуется делать перерывы для отдыха испытуемого через каждые 20 минут.

Подготовка испытуемого заключается в следующем. Чрезмерное утомление испытуемого в процессе испытаний может привести к недостоверности получаемых результатов. Рекомендуется делать перерывы для отдыха испытуемого через каждые 20 минут. Испытуемый должен находиться в удобной ненапряженной позе, его внимание не должно отвлекать посторонние события и находящиеся поблизости люди. Если испытуемый недавно подвергался воздействию сильного акустического шума, то это могло вызвать у него кратковременное повышение пороговых уровней прослушивания. Поэтому перед проведением аудиометрических испытаний таких воздействий следует избегать, а если это невозможно, то о них указывают в протоколе испытаний. Как правило, аудиометрическим испытаниям предшествует отоскопическое обследование, проводимое квалифицированным специалистом.

Инструктаж испытуемого включает в себя:

- реакции, которые ожидают от испытуемого в процессе испытаний;
- требование к испытуемому проявлять реакцию, как только каким-либо ухом будет услышан пусть даже очень слабый тональный сигнал;
- требование к испытуемому быстро реагировать на появление и прекращение - слышимости им тонального сигнала;
- порядок следования тоновых сигналов;
- порядок обследования ушей испытуемого.

Примерами часто используемых реакций являются: нажатие и отпускание сигнальной кнопки, подъем и опускание пальца или руки.

Пороговые уровни прослушивания могут быть определены как по воздушной, так и костной проводимости. В аудиометрии по воздушной проводимости тестовый сигнал предъявляют испытуемому через наушники. В аудиометрии по костной проводимости тестовый сигнал воспроизводят воздействием костного вибратора на сосцевидный отросток или на лобную кость испытуемого. Если аудиометрические испытания включают в себя определение пороговых уровней прослушивания для обоих видов проводимости, то измерения рекомендуется проводить вначале по воздушной проводимости, а потом по костной проводимости. Пороговые уровни прослушивания измеряют при предъявлении чистых тонов либо на фиксированных частотах (аудиометрия на фиксированных частотах), либо с изменением частоты тона с заранее установленной скоростью этого изменения (аудиометрия с разверткой по частоте).

Установка преобразователей происходит следующим образом. Перед началом испытаний испытуемого просят снять очки и головные украшения, если они мешают проведению испытания, а также удалить из уха слуховой аппарат, если такой имеется. Волосы испытуемого не должны находиться между преобразователем звука (головным телефоном или костным вибратором) и местом его установки на голове испытуемого. Костный вибратор устанавливают таким образом, чтобы площадь контакта его наконечника с костью, на которую передается вибрация, была максимальной.

Сигнал представляет собой синусоиду, последовательно подаваемую на частотах: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Определение порогового уровня прослушивания по воздушной проводимости методом аудиометрии на фиксированных частотах происходит следующим образом. Исследуемый диапазон частот: от 125 до 8000 Гц. Это диапазон речевых частот, поэтому он имеет первостепенное значение в исследовании слуха. Вследствие логарифмического закона восприятия звука и широкого диапазона интенсивностей слышимых звуков было введено понятие уровня интенсивности:

$$N(I) = 10 \lg \frac{I}{I_0}$$

За нулевой уровень интенсивности ($N = 0$ дБ) условились принимать интенсивность звука, равную $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м². Эта интенсивность близка, но не равна, порогу слышимости для нормального слуха на частоте 1 кГц.

Тестовый тональный сигнал должен быть непрерывным и иметь длительность от 1 до 2 с. При наличии реакций испытуемого интервал между предъявлениями сигналов изменяют, но он не должен быть меньше длительности сигнала.

Прежде чем приступить к измерениям пороговых значений, следует предъявить испытуемому тестовый сигнал, уровень которого достаточно высок, чтобы заведомо вызвать у испытуемого соответствующую реакцию.

Пример: процедура ознакомления испытуемого может включать в себя следующие действия:

а) предъявляют испытуемому отчетливо слышимый тон (например, для испытуемого с нормальным слухом может быть предъявлен тон с уровнем прослушивания 40 дБ) на частоте 2000 Гц;

б) уменьшают уровень прослушивания с шагом 20 дБ до тех пор, пока предъявляемый тестовый сигнал не перестанет вызывать реакцию испытуемого;

с) повышают уровень прослушивания с шагом 10 дБ, пока реакция испытуемого не появится вновь;

д) повторно предъявляют тон на том уровне, который вызвал появление реакции.

Если реакции испытуемого находятся в соответствии с предъявляемыми тестовыми сигналами, то процедуру ознакомления считают завершенной.

Испытания могут проводиться без использования маскирующего шума, так и с использованием такового.

а) Испытания без использования маскирующего шума

Шаг 1. Для первого предъявления выбирают уровень тона на 10 дБ ниже минимального уровня, при котором была зарегистрирована реакция испытуемого на стадии его ознакомления с тестовыми сигналами. После этого уровень тона последовательно повышают с шагом 5 дБ до тех пор, пока не будет получена реакция испытуемого.

Шаг 2. Устанавливаются два метода аудиометрических испытаний: метод границ и метод восходящих рядов. Различие этих методов состоит только в порядке предъявления тонов разных уровней испытуемому.

Последовательность подачи звукового сигнала регламентируется двумя методами: методом восходящих рядов и методом границ.

Метод восходящих рядов заключается в следующем. После появления реакции (шаг 1) уменьшают уровень тона с шагом 10 дБ до тех пор, пока он не перестанет восприниматься испытуемым. После этого начинают новую серию последовательных увеличений уровня тона с шагом 5 дБ. Серии предъявлений тестовых сигналов по восходящему ряду уровней продолжают до тех пор, пока не будут получены три реакции испытуемого, соответствующие одному и тому же уровню тона. Этот уровень принимают за пороговый уровень прослушивания. При этом общее число серий не должно быть более пяти. Сокращенный вариант метода восходящих рядов: для трех серий испытаний необходимо получить две реакции на одном и том же уровне предъявленного тона.

Метод границ заключается в следующем. После появления реакции (шаг 1) увеличивают уровень предъявляемого тона на 5 дБ, начиная с которого последовательно уменьшают уровень тона с шагом 5 дБ до тех пор, пока предъявляемый тон не перестанет восприниматься испытуемым. После этого уровень тона понижают еще на 5 дБ, с которого начинают новую серию последовательных увеличений уровня тона с шагом 5 дБ. Испытания продолжают, пока не будут получены по три серии предъявления тестовых сигналов по восходящему и нисходящему ряду уровней.

Шаг 3. Переходят к следующей частоте предъявляемого тона, испытания на которой начинают с уровня слышимого сигнала, полученного по завершении шага 2, и для данной частоты повторяют последовательность действий шага 2. Таким образом испытания проводят для всех частот на одном ухе.

После завершения испытаний на всех тестовых частотах повторяют измерения на частоте 1000 Гц. Если полученный результат будет отличаться от результата первоначального измерения на той же частоте не более чем на 5 дБ, то испытания для данного уха считают завершенными и переходят к испытаниям на другом ухе.

Если разность (по модулю) составила 10 дБ и более, то переходят к измерениям на следующих тестовых частотах, повторяют всю процедуру испытаний и возвращаются к измерениям на частоте 1000 Гц. Этот цикл повторяют до тех пор, пока расхождение в результатах двух последних измерений на этой частоте не станет равным 5 дБ и менее.

Шаг 4. Вышеуказанную процедуру повторяют для другого уха.

б) Испытания с использованием маскирующего шума

Такая процедура имеет смысл при асимметрии слуха. Для того, чтобы ухо, способное воспринимать более тихие звуки, не вносило ошибки в измерение, в него подается маскирующий шум посредством наушника.

Шаг 1. Испытуемому уху предъявляют тон с уровнем, равным пороговому уровню прослушивания без маскировки. На контралатеральное ухо воздействуют маскирующим шумом с эффективным уровнем равным пороговому уровню прослушивания данного уха. Увеличивают уровень шума до тех пор, пока предъявляемый тон не перестает быть слышимым или пока уровень шума не превысит уровень предъявляемого тона.

Шаг 2. Если при достижении уровнем маскирующего шума уровня предъявляемого тона последний продолжает быть слышимым, то этот уровень принимают за пороговый уровень прослушивания. Если же предъявленный тон перестает быть слышимым, то повышают его уровень до тех пор, пока он снова не станет слышен.

Шаг 3. Повышают уровень шума на 5 дБ. Если предъявленный тон становится неслышимым, то повышают его уровень до тех пор, пока он снова не будет услышан.

Эту процедуру повторяют до тех пор, пока тон не будет оставаться слышимым даже при повышении уровня маскирующего шума более чем на 10 дБ. Полученный уровень маскирующего шума, при котором не требуется повышать уровень тона, чтобы сделать его слышимым, считают уровнем, соответствующим целям маскирования, и указывают его на аудиограмме, а уровень слышимого тона принимают за пороговый уровень прослушивания на данной частоте.

в) Расчет порогового уровня прослушивания

Расчет для метода восходящих рядов заключается в следующем. Для каждой частоты и для каждого уха определяют наименьший уровень тона, при котором наблюдалась реакция испытуемого в более половины серий. Этот уровень принимают за пороговый уровень прослушивания.

Расчет для метода границ заключается в следующем. Для каждой частоты и для каждого уха вычисляют среднее арифметическое наименьших уровней тона для серий по восходящему ряду и для серий по нисходящему

ряду. Среднее из вычисленных значений, округленное до ближайшего значения, кратного 5 (дБ), принимают за пороговый уровень прослушивания.

г) Определение порогового уровня прослушивания по костной проводимости

Во избежание obturационного эффекта слуховой проход испытуемого уха при проведении измерений по костной проводимости не должен быть закрыт. Испытания по костной проводимости с использованием маскировки происходит следующим образом.

Шаг 1. После установки костного вибратора в контралатеральном ухе размещают наушник, через который будут подавать маскирующий шум. Следует обратить внимание на то, чтобы оголовья преобразователей не касались друг друга. Предъявляя тестовый сигнал посредством костного вибратора, измеряют пороговый уровень прослушивания при отсутствии маскирующего шума согласно одной из процедур (в сокращенном варианте): методом восходящих рядов или методом границ.

Шаг 2. Предъявляют тон с уровнем, равным пороговому уровню прослушивания без маскировки. В контралатеральное ухо подают маскирующий шум с эффективным уровнем равным пороговому уровню прослушивания для данного уха. Увеличивают уровень шума до тех пор, пока предъявляемый тон не перестает быть слышимым или уровень шума не превысит уровень предъявляемого тона на 40 дБ.

Шаг 3. Если при превышении уровнем шума на 40 дБ уровня предъявляемого тона последний продолжает быть слышимым, то этот уровень принимают за пороговый уровень прослушивания. Если же предъявленный тон перестает быть слышимым, то повышают его уровень до тех пор, пока он снова не станет слышен.

Шаг 4. Повышают уровень шума на 5 дБ. Если тестовый тон становится неслышимым, то повышают его уровень до тех пор, пока он снова не будет услышан.

Эту процедуру повторяют до тех пор, пока тональный сигнал не будет оставаться слышимым даже при повышении уровня маскирующего шума более чем на 10 дБ. Полученный уровень маскирующего шума, при котором не требуется повышать уровень тона, чтобы сделать его слышимым, считают уровнем, соответствующим целям маскирования, и указывают его на аудиограмме, а уровень слышимого тона принимают за пороговый уровень прослушивания на данной тестовой частоте.

1.3 Речевая аудиометрия

Известно, что у больных может быть значительная разница в восприятии разговорной речи при совершенно идентичной пороговой аудиограмме. Поэтому имеет место методика речевой аудиометрии [2]. Метод заключается в следующем: речь или отдельные слова записывают с помощью высококачественной звукозаписывающей аппаратуры (например, магнитофона), затем их передают на наушники, надетые на испытуемого. Группы слов подбирают так, чтобы они были фонетически однородными и соответствовали словесной и ритмико-динамической структуре русского языка. При записи на магнитофон все слова произносятся диктором одинаково громко, это контролируется при помощи вольтметра. Каждая запись содержит 50 слов. Аттенюатором регулируется уровень звука, с которым записанные слова передаются испытуемому.

Таблица 1.2 – Нормальный процент разборчивости

Порог	Процент разборчивости, %	Уровень в норме, дБ
1	Появляется едва слышимый неопределенный звук	5-10
2	20	25-30
3	50	30-35
4	80	35-40
5	100	45-50

Речевая аудиометрия проводится для получения кривой разборчивости. Чтобы ее построить, необходимо определить по крайней мере три точки [1].

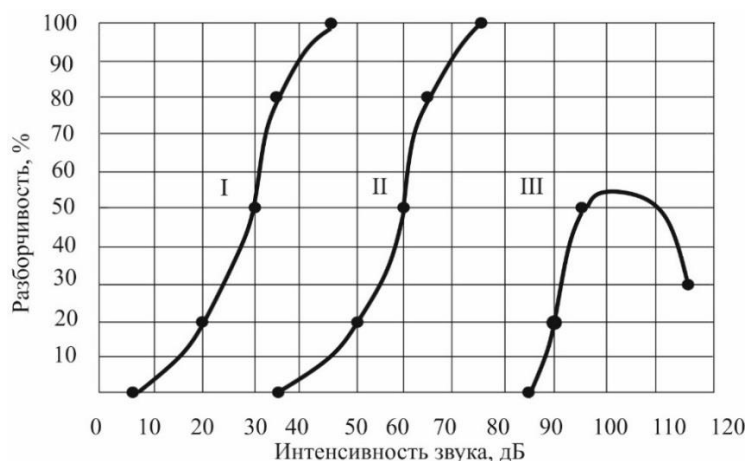


Рис. 1.4 – Кривые разборчивости: I – нормальный слух, II – поражение звукопроводящего аппарата, III – поражение звуковоспринимающего аппарата

При поражении звукопроводящего аппарата кривая разборчивости идет почти параллельно нормальной кривой, причем пороги разборчивости превышают нормальные пороги обычно не более чем на 40–50 дБ. При поражении звуковоспринимающего аппарата кривая разборчивости не параллельна нормальной.

1.4 Надпороговая аудиометрия

У больных с разной степенью тугоухости в обоих ушах может наблюдаться феномен усиленного нарастания громкости (ФУНГ), в медицинской литературе его называют рекруитмент (рекрутмент). Суть феномена в том, что больное ухо воспринимает звуковые раздражители более громкими, чем их воспринимает здоровое ухо. Это явление наблюдается при некоторых нарушениях слуха, например, при поражениях клеток Кортиева органа. Тесты для выявления ФУНГа называют «надпороговой аудиометрией».

Самым распространенным тестом является индекс малых приростов интенсивности (ИМПИ, который часто обозначают как SISI – Short Increment Sensitivity Index): на фоне общей интенсивности звука, превышающей пороговую на 20 дБ, раз в 3-5 секунд происходит кратковременное (200 мс) внезапное усиление звука на 1 дБ. Тестируемый отмечает нажатием кнопки, если он слышит это усиление. Нормальный человеческий слух способен обнаружить такой прирост не более чем в 20–30% случаев, а, как правило, и меньше. Иными словами, здоровое ухо не способно различать краткосрочные приросты звуковой интенсивности на 1 дБ. Чем чувствительнее тестируемый, и чем больше он дает правильных ответов – тем выше вероятность поражений органов слуха, так как именно в этом случае возрастает чувствительность к кратковременным приростам звука. SISI-тест позволяет определить поражения рецепторов уха и снижение слуха [2].

Проведение надпороговой аудиометрии имеет диагностическое значение. По наличию ФУНГ можно различить сенсорную и невральную тугоухость, а значит установить, произошло ли поражение внутреннего уха или же VIII нерва соответственно.

1.5 Обзор аудиометров

В ходе работы были рассмотрены различные конструкции аппаратуры для аудиометрических исследований с целью выяснить современный уровень реализации этих приборов. В настоящее время на рынке представлено шесть производителей: Interacoustics (Дания), Maico (Германия), Entomed (Швеция), Amplivox (Англия), Welch Allyn(США) и Ритм (Россия). [14]

Рассмотрим приборы нескольких фирм производителей и их характеристики.

Аудиометр ХЕТА Otometrics, Interacoustics (Дания).[15]

Аудиометр нового поколения на базе цифрового процессора сигнала высокого качества. Наличие автоматического скринингового теста позволяет проводить объективную диагностику состояния слуха при профилактических осмотрах и медицинских обследованиях. Внутренняя память на 50 пациентов.

Вес аудиометра: 4 кг;

Размеры аудиометра: 355x415x130 мм.

Диапазон частот прибора:

костная проводимость: 250 – 8000 Гц, стандартные частоты;

воздушная проводимость: 125 – 8000 Гц, 11 стандартных частот.

2 идентичных канала.

Аттенюатор: с шагом 5 дБ.

Модуляция:

АМ для SISI: шаг 5,4,3,2,1,0.75,0.5,0.25 дБ HL;

FM (Трель): 1-20 Гц, с шагом 1 Гц, Модуляция 1-25 % с шагом 1 %.

Воздушная проводимость: -10 – 120 дБ HL.

Костная проводимость: -10 – 70 дБ HL.

Диапазон уровней сигналов.

Маскировка: шум узкополосный.



Рис. 1.5 – Сочетание информационного экрана и удобных ручек

Аудиометр МА 52, Maico (Германия). [16]

Двух канальный аудиометр для проведения аудиометрии по воздушной, костной проводимости, речевой аудиометрии и клинических тестов.

Частота: 125-12000 Гц

Интенсивность: от -10 до 120 дБ

Высокочастотная аудиометрия (опция) при частоте 8-16 кГц и в диапазоне от -10 до 110 дБ.

Речевая аудиометрия: микрофон

Маскирующие шумы: узкополосный, белый шум, речевой шум.

Тестовый тон: чистый, пульсирующий, частотно-модулированный.

Воздушная проводимость: диапазон от -10 до 100 дБ

Костная проводимость: диапазон от -10 до 70 дБ

Тесты: SISI, Дефлер-Стюарта, Фоулера, Люшера, Кархарда, Штенгера.

Индикация результатов: ЖК дисплей.

Интерфейс RS-232. Возможность получения графического изображения на мониторе компьютера и распечатки аудиограмм на принтере, быстрого подбора слуховых аппаратов (NOAN-программа).

Электропитание: от сети.

Размеры: 36 x 46 x 15 см.

Вес: 5,8 кг.



Рис. 1.6 – Сочетание маленького экрана и функциональных кнопок.

Аудиометр SA 50, Entomed (Швеция). [17]

SA 50 – эргономичное миниатюрное устройство для диагностики нарушений слуха, спроектированное известным производителем Entomed и отвечающее всем основным клиническим требованиям.

Производители предлагают использовать аудиометр скрининговый в поликлиниках, госпиталях, медицинских пунктах, отоларингологических кабинетах, МСЧ, больницах и других медучреждениях.

Диапазон частот: 500, 1000, 2000, 4000 Гц

Интенсивность выходного сигнала: 20, 30, 40, 60 дБ

Мощность аудиометра (максимальная): 40 мА.

Размеры: 150x80x28 мм

Вес: 200 г

Индикатор (световой), сообщающий о разряде батареи

Питание от батареек



Рис. 1.7 – Аудиометр SA 50 с наушниками.

Портативный аудиометр 270, Amplivox (Англия). [18]

Amplivox 270 обладает всеми необходимыми клиническими тестами и функциями для костной, воздушной и речевой аудиометрии с узкополосной и широкополосной маскировкой. Прибор легкий и прост в эксплуатации,

транспортируется в специальном защитном футляре и может менять место положения, ведь он очень компактный и небольшой по габаритам.



Рис. 1.8 – Аудиометр портативный 270, Amplivox.

Аудиометр ЭХО-K01, РИТМ (Россия) [19]

ЭХО-K01 – современный клинический аудиометр портативного типа, спроектированный специально для реализации исследования слуха. Позволяет выполнять точную диагностику благодаря применению высокочастотной, тональной и речевой аудиометрии. Такой прибор всегда остается востребованным и актуальным для исследований в сурдологических кабинетах, клиниках и больницах.

Основные размеры прибора: 250×150×60 мм.

Вес: 1,7 кг

УШ: $\pm 14\%$ от установленной частоты

ЧМ: 5 Гц, $\pm 5\%$ от установленной частоты

Питание: 220 В, 50 Гц.

2 типа проводимости: костная и воздушная

2 основных канала: 1-ый канал (вход: микрофон, УШ, Тон, ЧМ, БШ, внешний вход 1, внешний вход 2; выход: Возд ВЧ П, Возд НЧ П, Возд НЧ Л, Возд ВЧ Л, Кост.); 2-ой канал (вход: БШ, микрофон, Тон, ЧМ, УШ, , внешний вход 1, внешний вход 2; выход: Возд НЧ П, Возд НЧ Л, Возд ВЧ П, Возд ВЧ Л, Кост.)

Используемые частоты: костная проводимость: 250 Гц – 8000 Гц; воздушная проводимость НЧ: 125 Гц – 8000 Гц; воздушная проводимость ВЧ: 8000 Гц – 16000 Гц.

Интенсивность: костная проводимость: -10 дБ – 70 дБ; воздушная проводимость: НЧ: -10 дБ – 110 дБ; воздушная проводимость ВЧ: -10 дБ – 100 дБ.

Контроль осуществляется за счет специальных дополнительных наушников специалиста;

Система управления: однократная, непрерывная, прерывистая, ручная.

Связь с пациентом (через микрофон): -10 – 110 дБ.

Связь с компьютером, контроль режимов, перенос данных на ПК за счет интерфейсов COM и USB.

Шаг изменения интенсивности: 1 дБ, 2 дБ, 5 дБ.

Речевая аудиометрия: микрофон, внешние входы 1 и 2.

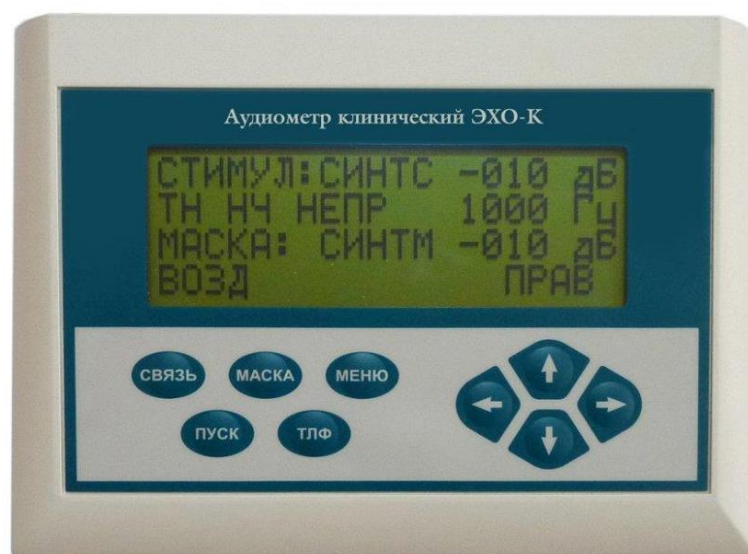


Рис. 1.9 – Внешний вид аудиометра ЭХО-К01, РИТМ.

1.6 Обзор аудиометрических наушников

При проведении аудиометрических исследований необходимо использование специальных наушников, имеющих равномерную амплитудно-частотную характеристику в широком диапазоне частот. Основные параметры наушников: рабочий диапазон частот, импеданс, чувствительность.

Диапазон частот говорит о том, какие частоты могут быть воспроизведены устройством. Человек слышит в диапазоне 20 Гц – 20 кГц. Наушники, превышающие этот диапазон, имеют более высокое качество звука, нежели наушники с узким диапазоном. Для проведения аудиометрии (в особенности, высокочастотной аудиометрии) важно, чтобы частоты, на которых происходит измерение, «не выпадали», поэтому частотный диапазон выбранных наушников должен иметь запас по сравнению со слышимым диапазоном. Кроме того, это обеспечит меньшие искажения при воспроизведении граничных частот слышимого диапазона.

От импеданса зависит громкость воспроизведения и уровень энергопотребления наушников. Чем выше импеданс, тем тише будут звучать наушники (при одинаковой чувствительности), и тем меньше будет энергопотребление. Также высокий импеданс способствует повышению качества воспроизведения, улучшая соотношение сигнал/шум.

Коэффициент нелинейных искажений (КНИ) определяет точность передачи звука. Зависит от внутренних паразитных резонансов, отражений и прочих факторов искажения сигнала. Приемлемым (и чаще всего указываемым) является значение $<1\%$, однако методика замеров КНИ фактически среди производителей не стандартизирована.

Чувствительность наушников характеризует их громкость. Обычно выражается в дБ/мВт. К сожалению, из-за отсутствия жесткого стандарта к конструкции измерительного стенда, у разных производителей чувствительность наушников не сопоставима.

В таблице 1.3 представлены параметры аудиометрических наушников, производимых фирмами Telephonics (США) и Sennheiser (Германия).

Таблица 1.3 – Технические характеристики аудиометрических наушников

Модель	TDH39	HDA280
Амбушюры	Supra-aural	Supra-aural
Диапазон частот	100 – 8000 Гц	20 – 20000 Гц
Сопротивление	10 Ом	37 Ом
Чувствительность (при 1 кГц, 1 Вт)	108±4 дБ	117 дБ
КНИ (при 1 КГц, 100 дБ)	< 1 %	< 0,7 %
Контактное давление	–	5 Н
Ориентировочная стоимость	210 \$ (200 €)	205 \$ (195 €)

Объективную картину качества наушников можно увидеть по амплитудно-частотной характеристике (АЧХ). Она демонстрирует зависимость относительного коэффициента передачи, выраженного в децибелах, от частоты. За опорный уровень (0 дБ) обычно берется коэффициент в области 1 кГц.

Заметим отличительную черту профессиональных аудиометрических наушников: на низких частотах они имеют ровную АЧХ. Это доказывают приведенные ниже характеристики для наушников TDH39 и HDA280. Обычные наушники, как правило, имеют в этом диапазоне частот завалы из-за возникновения любого воздушного зазора между ухом и наушником.

Поскольку аудиологические исследования проводят на частотах от 125 Гц до 8 кГц, то и амплитудно-частотные характеристики представленных наушников лишь немного превышают указанный диапазон.

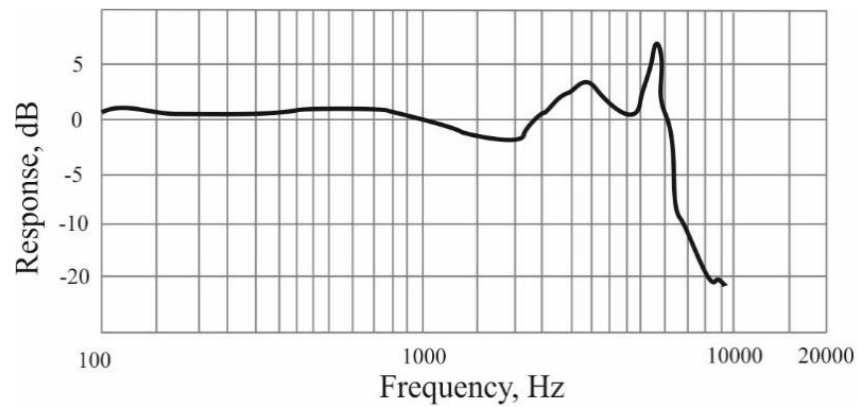


Рис. 1.8 – АЧХ аудиометрических наушников TDH-39P

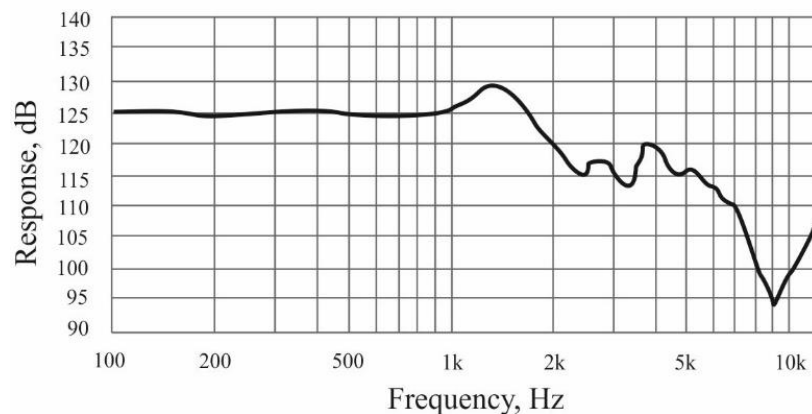


Рис. 1.9 – АЧХ аудиометрических наушников HDA 280

Для целей аудиометрии также необходимо знать передовые технические характеристики: характеристику затухания окружающего звука для определения максимально допустимого уровня окружающего шума (MPANL), линейность реакции на напряжение и стандартный эквивалент пороговых уровней звукового давления (RETSPL) [16].

Важной технической характеристикой наушников является форма амбушюров. Следует различать Supraaural и Circumaural амбушюры. «Supraaural» означает, что подушка наушника сидит прямо на ушной раковине и оказывает на нее давление. Circumaural амбушюры окружают ухо, что делает их более удобными для пациента. По сравнению с Circumaural, амбушюры Supraaural имеют много утечек и не обладают хорошим шумоподавлением [17].

Помимо закрытых наушников с формой амбушюр Supraaural и Circumaural для аудиометрии применяются внутриушные наушники,

например, ER-3A фирмы Etymotic Research (США). Наконечники таких наушников окружены поролоновыми подушечками. Перед помещением в ухо их сжимают, а затем они расправляются, плотно закупоривая ушной канал. Поролоновыми подушечки предназначены для одноразового использования и должны быть заменены новыми для каждой тестовой сессии.

Достоинство внутриушных наушников в том, что они обеспечивают хорошее разделение звука между ушами по всему диапазону частот испытания. Это устраняет потребность в шумовой маскировке, которую применяют в случаях, когда пациент имеет большое различие в восприятии звуков левым и правым ухом. Кроме того, использование внутриушных наушников снижает требования к звукоизоляции помещения, в которых проводятся аудиологические исследования [18]. Внутриушные наушники незаменимы при тестировании глубоко глухих пациентов с «левоугловыми аудиограммами», где реакция на звуковой стимул от наушников TDH-39 часто вибротактильная, а не слуховая.

Амплитудно-частотная характеристика Supra-aural наушников TDH-39 не существенно отличается от наиболее распространенных клинических аудиометрической внутриушных наушников ER-3A. Дело в том, что ER-3A были специально разработаны, чтобы имитировать амплитудно-частотную характеристику TDH-39. Таким образом, эти наушники являются взаимозаменяемыми [19].

1.7 Выводы по первой главе

Таким образом, в главе рассмотрены наиболее распространенные методики аудиометрии. Каждая методика занимает свою нишу: тональная пороговая аудиометрия позволяет оценить степень тугоухости и правильно настроить слуховой аппарат под каждую октавную частоту; с помощью речевой аудиометрии оценивают процент разборчивости слов; надпороговая аудиометрия помогает определить место поражения слухового анализатора;

объективные методики являются наиболее точными, а также применяются в случае, когда пациент не может давать четких ответов. Пошаговая методика тональной аудиометрии приведена для правильной реализации алгоритма в интерфейсе программы для компьютера. В разработке аудиометра будут реализованы методика тональной аудиометрии, поскольку она является базовой, и объективная методика ASSR, так как она имеет ряд преимуществ перед методикой регистрации КСВП, как было указано выше.

Обзор аудиометрических наушников показал, что одной из самых значимых характеристик является АЧХ. Для повышения качества звукопроведения необходима корректировка АЧХ используемых для разработки наушников. Она будет производиться путем регулирования уровня входного сигнала наушников.

Глава 2. Выбор и обоснование структурной и принципиальной схем.

2.1 Разработка структурной схемы аудиометра

В любой современный тональный аудиометр входят следующие элементы :

- генератор синусоидальных сигналов;
- фильтр, для выделения необходимой частоты сигнала;
- усилитель – прибор для усиления сигнала от источника звука;
- наушники – устройство для передаче звукового сигнала во внутреннее ухо при проведении исследования для воздушной проводимости;
- кнопка ответов пациента – устройство, позволяющее получить сигнал от пациента, когда им был услышан сигнал.

Основное устройство может быть дополнено:

- генератором шума – устройство позволяющее скрыть звуковой сигнала в том случае, когда пациент имеет значительную разницу в порогах слышимости между правым и левым ухом (без маскировки пациент более здоровым ухом будет слышать сигнал, предназначенный для исследования контрлатерального уха);
- дисплей – устройство позволяющее отображения результат исследования;
- принтер – устройство для печати результатов исследования;
- микрофон – устройство позволяющее врачу аудиологу давать необходимые комментарии пациенту во время исследования;
- ПК – устройство, которое может заменить собой дисплей, а также предоставить аудиологу удобный интерфейс и возможность обработки результатов исследования.

На сегодняшний день актуально проектировать медицинские приборы, имеющие связь с ПК, однако, портативные устройства так же необходимы, поскольку, не все пациенты могут пройти обследования в поликлиниках и стационарах из-за территориальной отдаленности от медицинских учреждениях. Структурная схема разрабатываемого аудиометра, рис. 2.2.

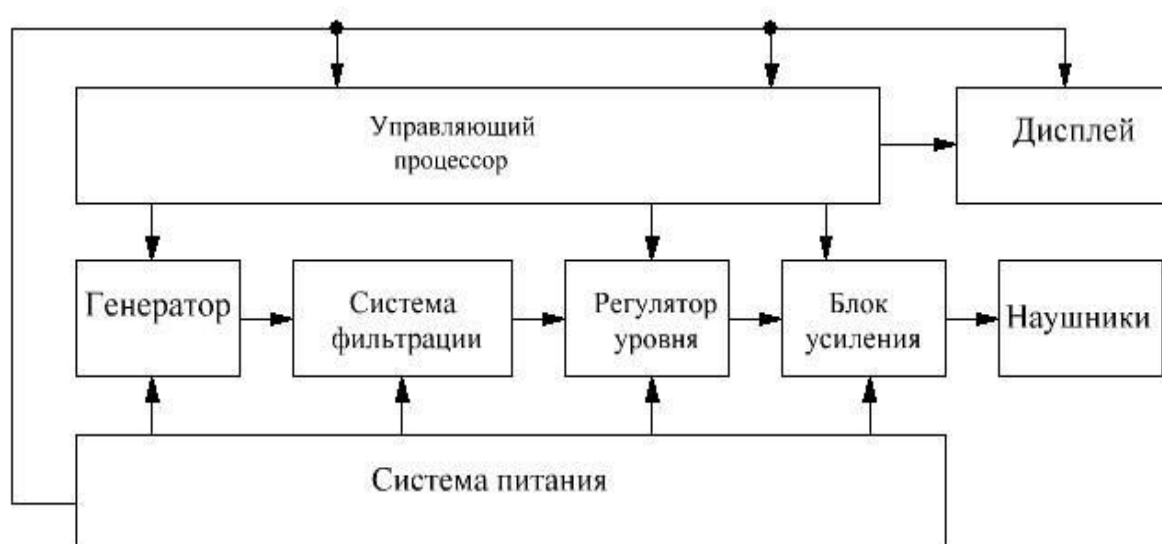


Рис. 2.1 – Полная структурная схема разрабатываемого аудиометра

Назначение блоков заключается в следующем. Генератор производит синусоидальный сигнал, на выходе получаем напряжение следующих частот: 125 Гц, 250 Гц, 500 Гц, 1000 Гц, 2000 Гц, 4000 Гц и 8000 Гц (чистые тоны).

Далее сигнала выхода генератора через систему фильтрации высших гармоник поступает на регулятор уровня.

Блок усиления необходим для подключения наушников, имеющих низкое входное сопротивление. Также в блоке усиления осуществляется коммутация левого и правого каналов.

Управляющий процессор выполняет следующие функции:

- задает частоту генератора;
- регулирует уровень сигнала;
- осуществляет коммутацию каналов усилителя мощности;

- выводит информацию на дисплей;
- задает режимы работы прибора;

В состав схемы входит дисплей на который выводится текущая информация о работе прибора.

Блок питания вырабатывает напряжения необходимые для работы элементов схемы.

Ввиду сложности осуществления полного перечня функций современного тонального аудиометра, в рамках ВКР было решено опустить блоки «Генератор шума», «Принтер», «Микрофон», «связь с ПК»

2.2 Расчет и выбор элементов электронный схемы аудиометра

2.2.1 Генератор сигнала

Для осуществления генерации сигнала необходимо использовать микросхему, в которой процесс задачи частоты выходного сигнала будет производиться управляющей системой.

Выбираем микросхему AD9833, которая имеет следующие технические характеристики:

- Тактовая частота до 25 МГц;
- Напряжение питания от +2,3 В до +5,5 В.;
- Возможность фазовой и частотной модуляции.
- Дискретность установки частоты 0,0001 Гц.
- Внутренняя цифровая секция работает при +2,5 В, независимо от значения напряжения питания, встроенным регулятором, который отключает напряжения питания до +2,5 В, когда напряжение превышает +2,5 В.

- AD9833 имеет функцию отключения питания (SLEEP), которая позволяет минимизировать потребление тока в цифровой части.

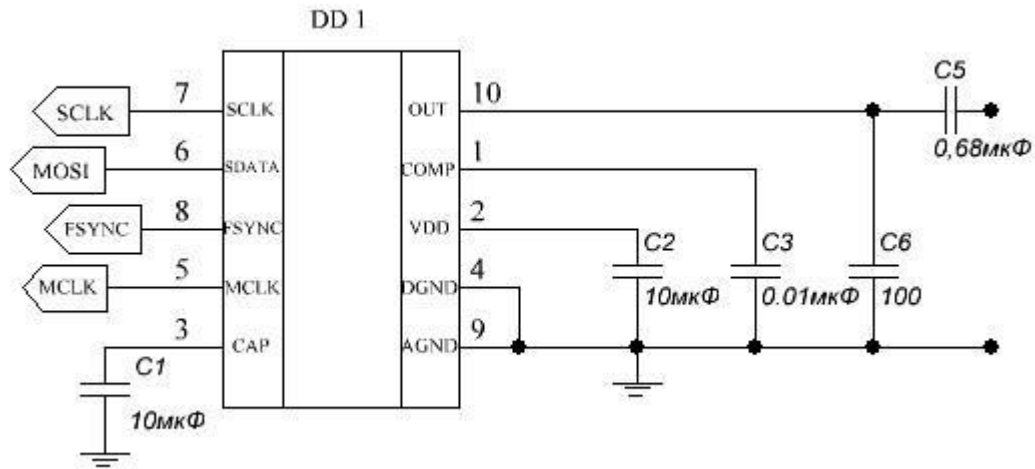


Рис. 2.2 – Функциональная блок схема AD9833.

Для осуществления разделения блока генерации и фильтрации по постоянному току, рассчитаем номинал емкости конденсатора C5, данное значение необходимо выбрать, учитывая нижнюю частоту генерации.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Зная частоту среза и сопротивление резисторов R3 и R6, образующих последовательное соединение, рассчитаем номинал конденсатора.

$$C_5 = \frac{1}{f_0 2\pi R} = \frac{1}{125 * \pi * 5000} = 5,092 * 10^{-7}$$

Выберем конденсатор C5 по шкале E24 ближайшим номиналом 0,68 мкФ. Номиналы конденсаторов C1=10мкФ, C2=10мкФ, C3=0,01мкФ, C6=100 выбрали согласно рекомендациям производителей данной микросхемы.

2.2.2 Выбор фильтрующей системы

Для фильтрации выходного сигнала с генератора был использован фильтр со сложной отрицательной обратной связью. [Полупроводниковая схемотехника У.Титце, К. Шенк, г 1982]

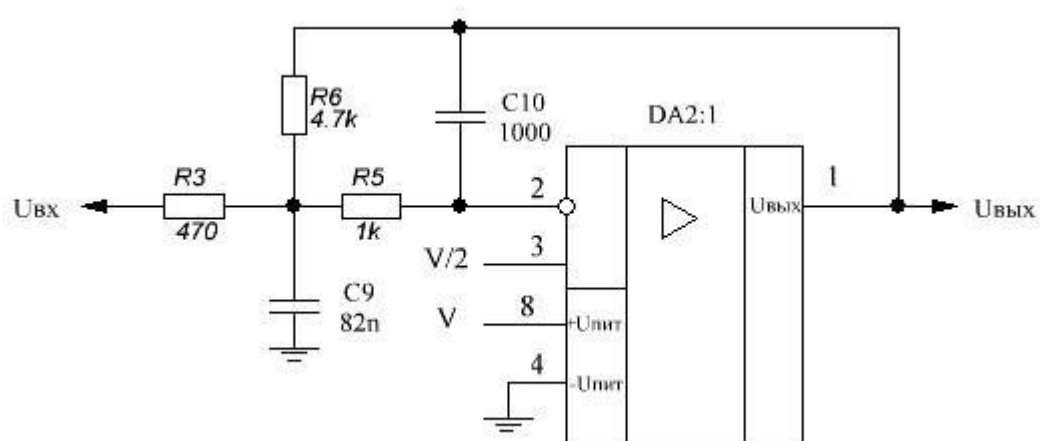


Рис. 2.3 – Принципиальная схема фильтра.

Передаточная характеристика активного фильтра нижних частот имеет вид:

$$A(P) = - \frac{R_2/R_1}{1 + \omega_g C_1 \left(R_6 + R_5 + \frac{R_6 R_5}{R_3} \right) P + \omega_g^2 C_{10} C_9 R_6 R_5 P^2}$$

Из выражения передаточной характеристики следует, что:

$$A_0 = - \frac{R_6}{R_3}$$

$$a_1 = \omega_g C_{10} \left(R_6 + R_5 + \frac{R_6 R_5}{R_3} \right)$$

$$b_1 = \omega_g^2 C_{10} C_9 R_6 R_5$$

Для расчета фильтра зададимся номиналами резисторов $R_3=470\text{Ом}$ и $R_5=1\text{кОм}$.

$$R_6 = \frac{a_1 C_9 - \sqrt{a_1^2 C_9^2 - 4 C_{10} C_9 b_1 (1 - A_0)}}{4 \pi f_g C_{10} C_9}$$

$$R_3 = \frac{R_6}{-A_0}$$

$$R_5 = \frac{b_1}{4 \pi^2 f_g^2 C_{10} C_9 R_6}$$

Для того чтобы значение сопротивления R_6 было действительным, проверили выполнения условия

$$\frac{C_9}{C_{10}} = \frac{4b_1(1 - A_0)}{a_1^2}$$

По произведенным расчетам подобрали следующие номиналы резисторов и конденсаторов $R_6=4,7\text{кОм}$, $C_9=82\text{нФ}$, $C_{10}=1000\text{Ф}$.

2.2.3 Разработка регулятора уровня сигнала

Для регулировки уровня сигнала был использован 512 - позиционный цифровой потенциометр на базе микросхемы AD8400.

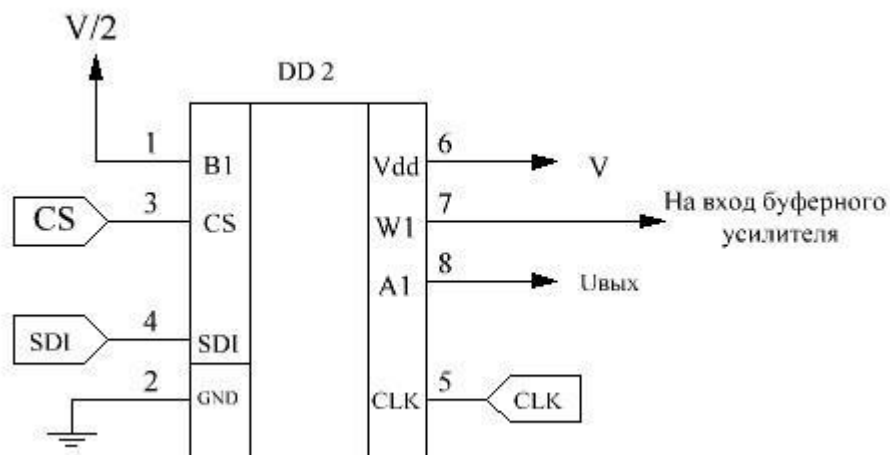


Рис. 2.4 – Регулятор уровня

2.2.4 Блок усиления

Для усиления сигнала перед подачей на наушники используем буферный усилитель, который согласует высокое выходное сопротивление регулятора уровня с относительно низким входным сопротивлением усилителя мощности.

В зависимости от требуемого диапазона выходных токов и напряжений, буферные усилители могут строиться

- на дискретных транзисторах, повторители переменного напряжения также на лампах;
- на операционных усилителях общего назначения;
- на специализированных ИС буферных усилителей.

В своей работе мы используем вторую половину ИС ОУ, которая использовалась при построении фильтра.

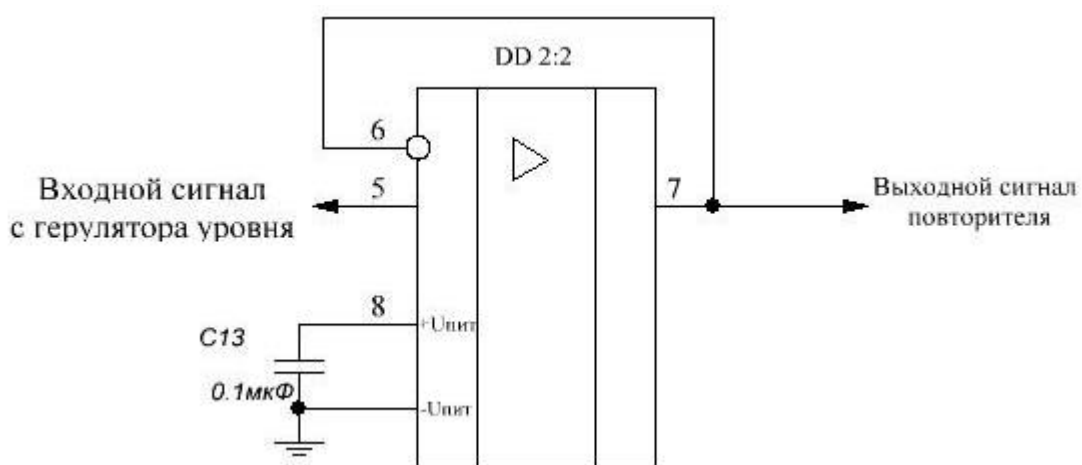


Рис. 2.5 – Буферный повторитель

Номинал конденсатора $C_{13}=0,1\text{мкФ}$, выбираем согласно рекомендациям производителя данной микросхемы.

После прохождения буферного повторителя сигнал попадает на узел разделения сигнала на правый и левый. Номиналы резисторов R_{13} и R_{14} с одной стороны должны быть как можно меньше, чтобы не влиять на коэффициент усиления следующего каскада, построенного по схеме инвертирующего усилителя, с другой стороны, как можно больше, чтобы разделить каналы при замыкании ключа, выполненного на полевом транзисторе, который замыкается при подаче на затвор высокого уровня от управляющего микроконтроллера.

Сопротивление резисторов R_{13} и R_{14} представляет собой нагрузку буферного повторителя на базе ОУ. Выходной ток ОУ не должен превышать 20 мА при напряжении питания 5В. Рассчитаем сопротивление нагрузки, которое не повлияет на работу буферного повторителя.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{5}{0,02} = 250\text{Ом}$$

Таким образом, сопротивление резисторов R_{13} и R_{14} должно быть не меньше 250Ом. Для работы ключей возьмем резисторы R_{13} и R_{14} по 1кОм.

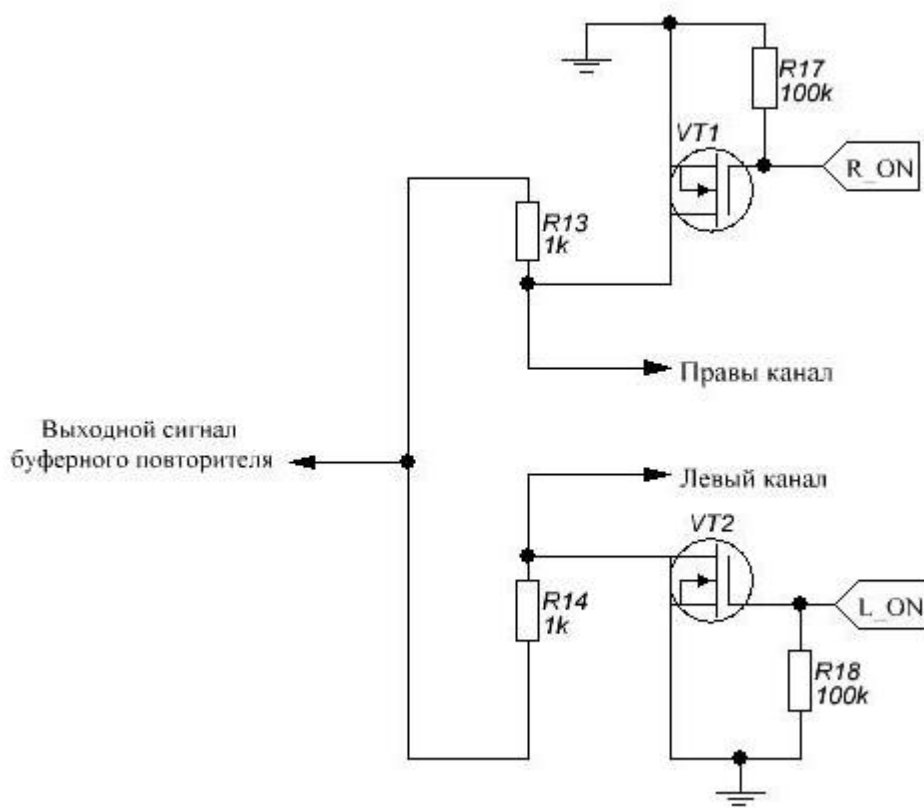


Рис. 2.6 – Узел разделения звукового сигнала.

После разделения сигнала каждый из каналов усиливается блоком усиления мощности (УМ) до уровня, необходимого для работы с наушниками.

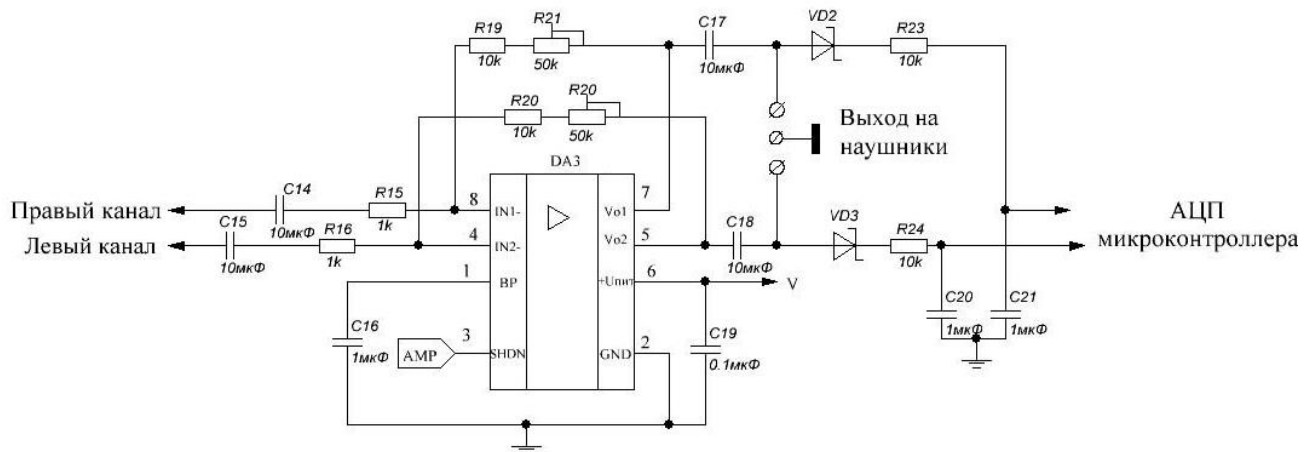


Рис. 2.7 – Усилитель мощности

Уровень выходного сигнала после генератора составляет 100мВ.

Коэффициент передачи фильтра - 10, поэтому после фильтра амплитуда сигнала составляет 1В.

Коэффициент передачи регулятора уровня в крайнем положении и буферного усилителя - 1. Поэтому максимальная амплитуда сигнала на входе УМ составит 1В.

В качестве усилителя мощности используется микросхема ТРА6110А2, максимальная выходная мощность которой составляет 0,15Вт. При сопротивлении аудиометрических наушников TDH39 100 Ом максимальное выходное напряжение составит:

$$U_{\text{вых УМ}} = \sqrt{PR_{\text{науш}}} = \sqrt{15} = 3,872\text{В}$$

Исходя из этого коэффициент передачи УМ должен составлять не менее 3,872.

Рассчитаем значение резисторов, для обеспечения необходимого коэффициента усиления.

$$K_u = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = -\frac{R_{19}}{R_{15}} \rightarrow R_{19} = \left| -\frac{U_{\text{вых}} R_{15}}{U_{\text{вх}}} \right| = 38,7\text{кОм}$$

Для точной установки выходного напряжения используем построечные резисторы. Подходящий резистор выбираем из ряда E24, номиналом 50кОм.

Рассчитаем коэффициент усиления для крайних положений построечного резистора.

Если переменный резистор в крайнем левом (по схеме) положении, то

$$K_u = \frac{R_{19}}{R_{15}} = 1$$

Если переменный резистор в крайнем правом положении, то

$$K_u = \frac{R_{19} + R_{21}}{R_{15}} = 6$$

Элементы VD₂, VD₃, R₂₃, R₂₄, C₂₀, C₂₁ образуют однополупериодный выпрямитель, необходимый для измерения уровня выходного сигнала, который подаётся на вход АЦП управляющего микроконтроллера. Постоянная времени цепей выпрямителя выбрана так, чтобы напряжение на входе АЦП не изменилось за время преобразования даже для самой низкой частоты сигнала.

2.2.5 Блок питания электронной схемы

Для обеспечения питания электронной схемы портативного тонального аудиометра используется микросхема L6920DB.

Микросхема представляет собой импульсный повышающий преобразователь с синхронным выпрямителем и КПД до 95%. В составе устройства имеется детектор разряда батареи, а также защита от перегрузки по току и неправильного подключения питания.

Номиналы конденсаторов и катушки индуктивности: C₁₁=220мкФ, C₇=220мкФ, C₄=0,1мкФ, C₈=0,1мкФ, L₁=10мкГн выбраны согласно рекомендации производителя.

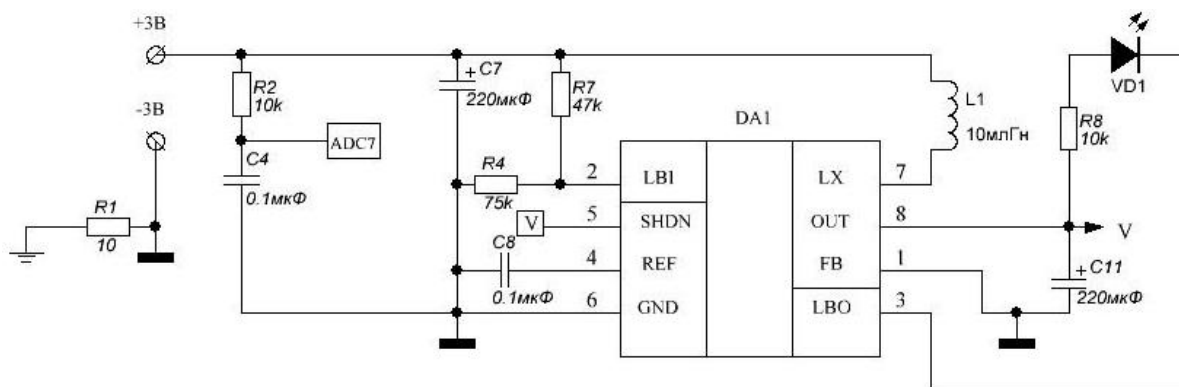


Рис. 2.8 – Блок питания

Рассчитаем номиналы резисторов R_4 и R_7 , задающих уровень срабатывания детектора разряда батареи.

Питание устройства осуществляется от двух пальчиковых элементов типоразмера АА. Уровень напряжения разряженной батареи составляет 1В для каждого элемента или 2В для батареи из двух элементов.

Зададимся значением сопротивления R_4 75кОм. Тогда, в соответствии с выражением

$$U = 1,23 * (1 + \frac{R_7}{R_4})$$

Сопротивление R_7 должно составить 47кОм.

Через ограничивающий резистор R_2 и сглаживающий конденсатор C_4 напряжение питания подаётся на вход АЦП управляющего микроконтроллера.

Резистор R_8 задаёт ток через светодиод. Поскольку он загорается при разряженных элементах питания, выберем наибольшее значение сопротивления, при котором ещё видно свечение светодиода.

2.2.6. Блок вывода информации

Для вывода информации о работе устройства используется жидкокристаллический дисплей ULCD-24PTU с размером диагонали 2.4 дюйма и разрешением 240x320 точек производства 4D System.

Дисплей управляется командами, передаваемыми по последовательному порту управляющего микроконтроллера.

Информация, выводимая на дисплей, представлена на рисунке



Рис. 2.9 – Изображение на дисплея

2.3 Выводы по второй главе

Рассмотрев принципиальные электрические схемы современных тональных аудиометров, была разработана электрическая схема, которая позволила спроектировать портативное устройство. Оно включает интегральные схемы, выполняющие все необходимые для работы прибора функции.

Управляющая система, генератор, фильтр, а также система разделения сигнала и усиления его мощности разработана таким образом, чтобы обеспечить стабильную работу устройства при минимальных энергозатратах.

Разработанная принципиальная схема легла в основу макета аудиометра. В главе 4 показана ее работоспособность.

Глава 3. Алгоритм работы микроконтроллера

Для управления всеми узлами схемы был разработан следующий алгоритм работы микроконтроллера, который осуществляет слаженную работу всей схемы.

Программный код представлен в приложении 1.

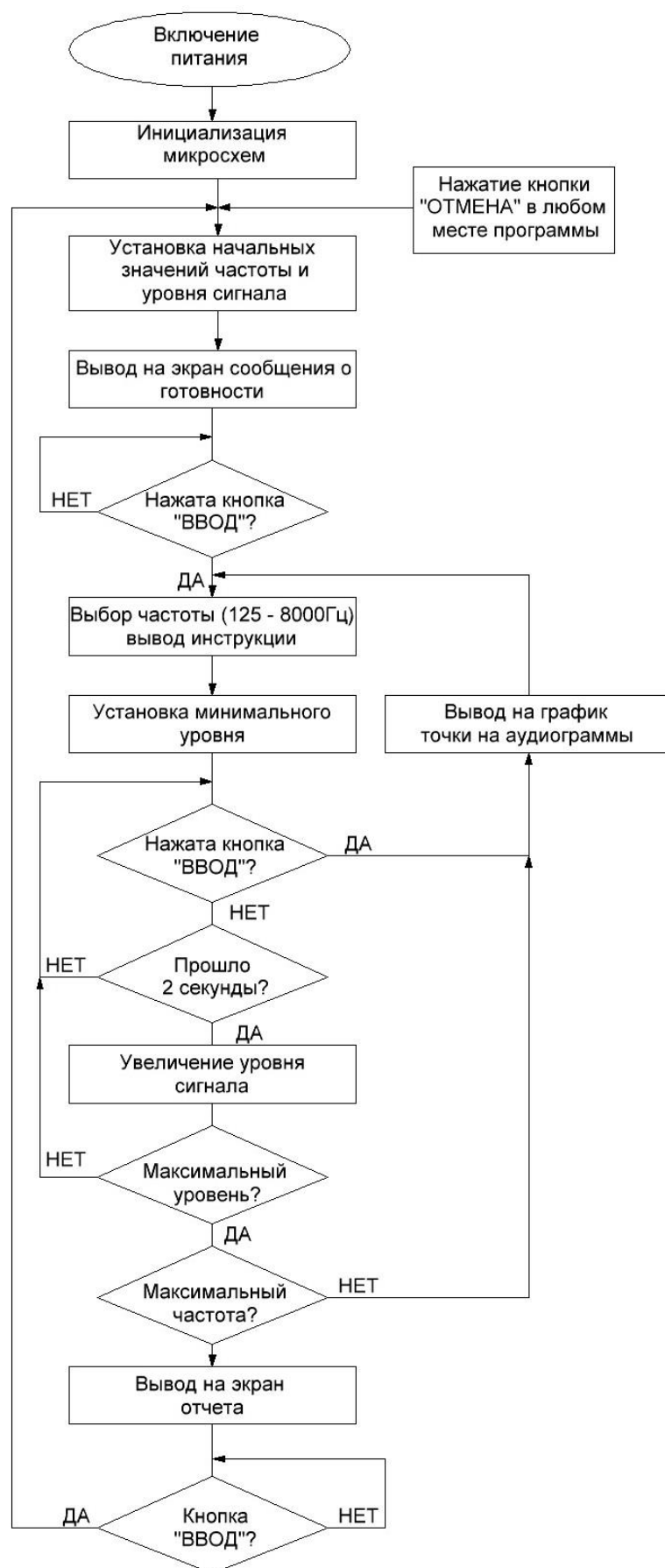


Рис. 2.9 – Блок схема алгоритма работы программного обеспечения

3.1 Выводы по третьей главе

Разработанная программа управляет всеми составными частями устройства, обеспечивая функционирование прибора в соответствии с сформулированными ранее принципами.

В соответствии с заданными параметрами меняется частота и уровень тестового сигнала, обеспечиваются временные задержки и слежение за реакцией пациента. На основе этих данных строится аудиограмма и рассчитывается порог слышимости.

Глава 4. Экспериментальное исследование макетной платы аудиометра

Экспериментальное исследование макета состояло в следующем:

- проверить правильность работы каждого функционального узла электрической схемы;
- проверить значение амплитуды сигнала при выставлении различных значений для коэффициента, отвечающего за сопротивление цифрового потенциометра.

4.1. Иллюстрация работы схемы

Для иллюстрации работы схемы был собран макет, представленный на рисунке 4.1

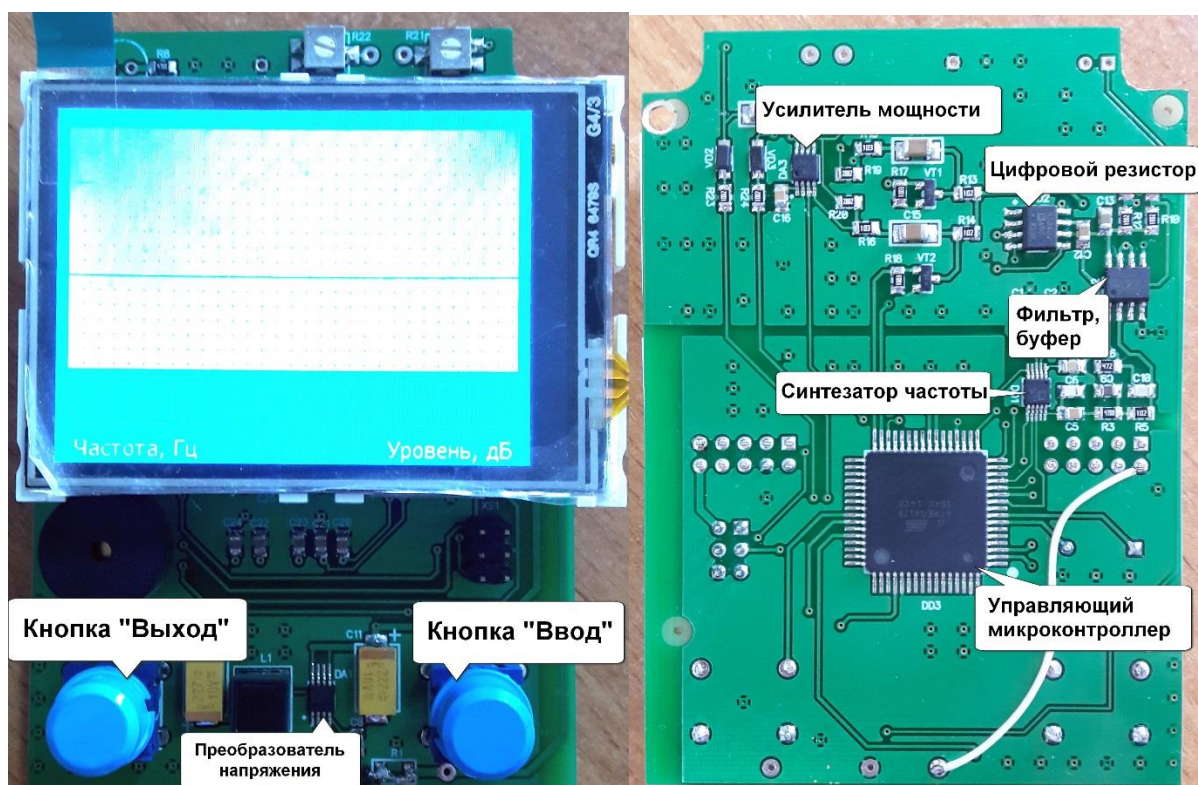


Рис. 4.1 – Изображение платы с двух сторон.

4.2 Генерация и фильтрация сигнала

На Рисунке 4.2а представлен сигнал частотой 1кГц на выходе синтезатора частоты. Хорошо видны помехи, возникающие при генерации сигнала.

Форма сигнала после фильтра представлена на Рисунке 4.2б

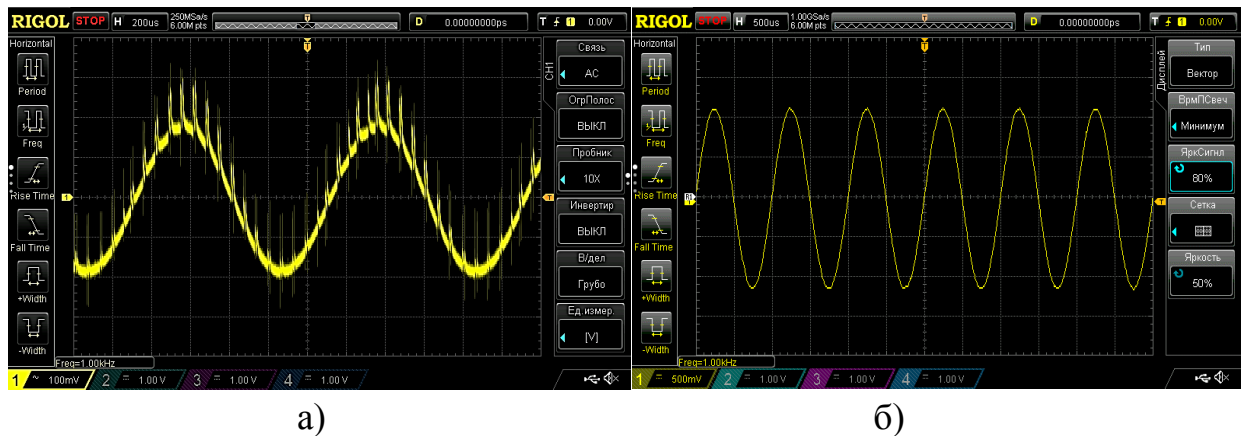


Рис. 4.2 – а) сигнал с выхода синтезатора, б) сигнал после фильтрации

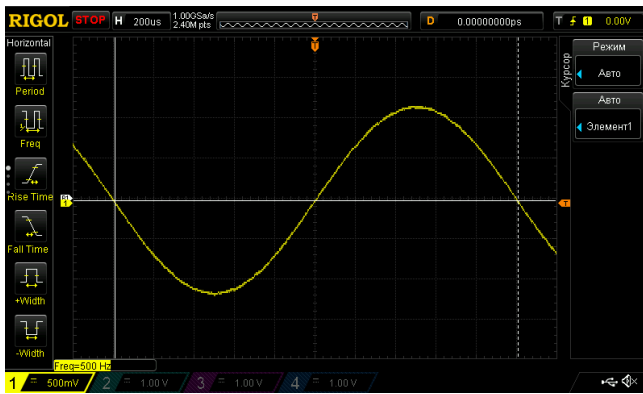
На приведённых осциллограммах хорошо видна фильтрация сигнала.

4.2 Изменение значения частот

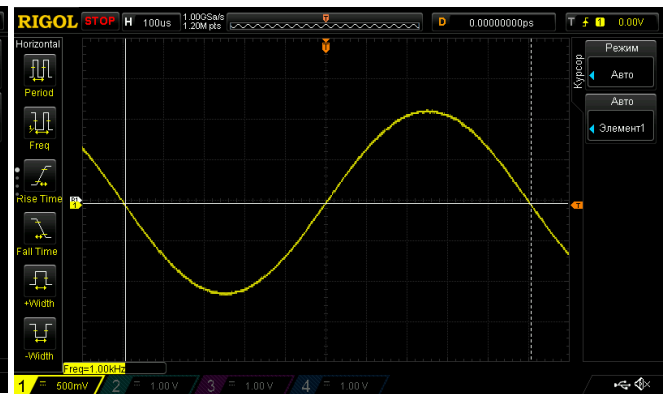
На Рисунках 4.3а и 4.3б приведены осциллограммы сигнала на выходе для подключения наушников для различных тестовых частот.



Рис. 4.3 – а)осциллограмма частотой 125Гц., б)осциллограмма частотой 250Гц.

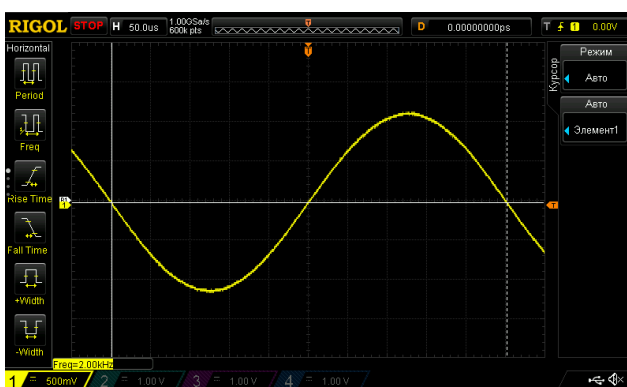


а)

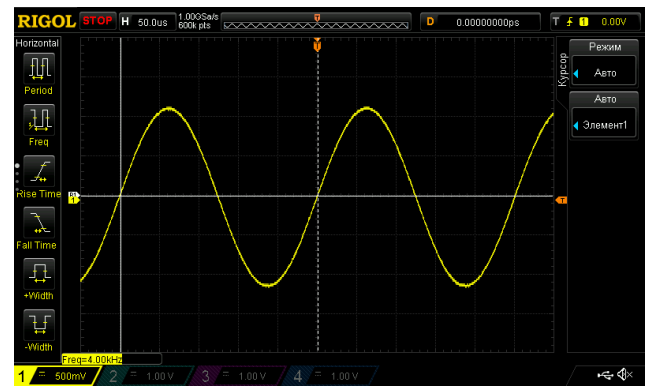


б)

Рис. 4.4 – а)Оциллограмма частотой 500Гц; б) оциллограмма частотой 1кГц



а)



б)

Рис. 4.5 – а)осциллограмма частотой 2кГц; б)осциллограмма частотой 4кГц

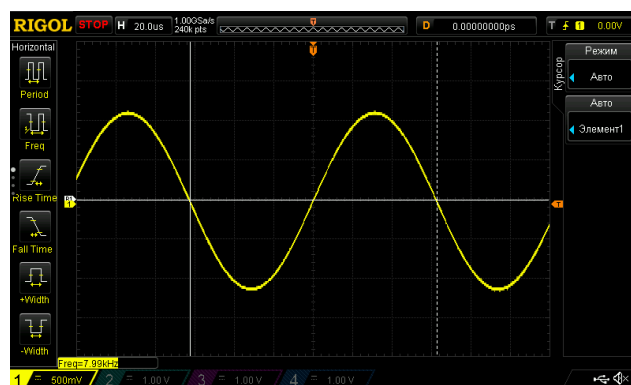
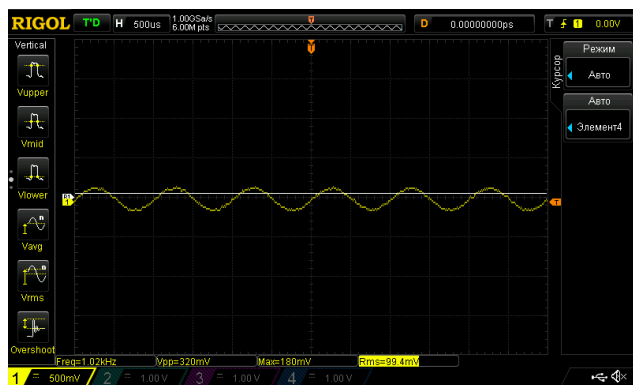


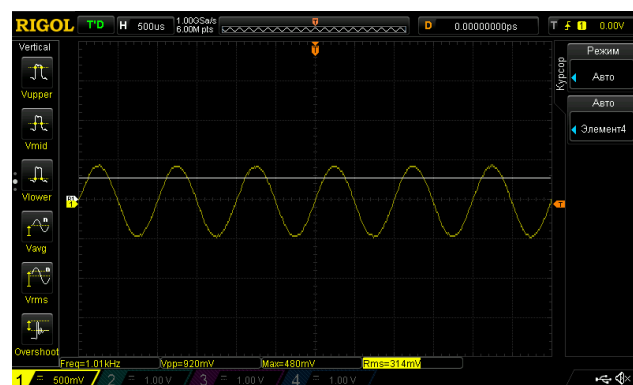
Рис. 4.6 – Осциллограмма частотой 8кГц.

4.2 Изменение уровня сигнала

На Рисунках 4.7а, 4.7б, 4.8 приведены осциллограммы сигнала на выходе для подключения наушников для различных значений сопротивления цифрового резистора.



а)



б)

Рис. 4.7 – а)уровень сигнала -20дБ; б)уровень сигнала -10дБ

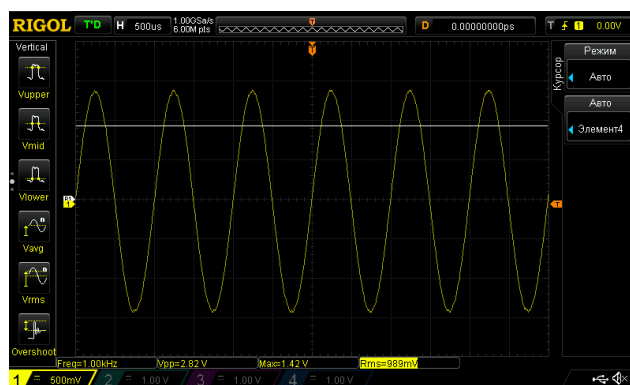


Рис. 4.8 – Уровень сигнала 0дБ.

4.3 Вывод по четвертой главе

Приведённые выше осциллограммы показывают полное совпадение расчётных и практических данных. Прибор функционирует в соответствии с требованиями, сформулированными на этапе обоснования и расчёта устройства.

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

Студенту:

Группа	ФИО		
1Д41	Пищулина Дарья Павловна		
Школа		Отделение школы ОЭИ	
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	12.03.04.Биотехнические системы и технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Оклад руководителя - 26300 руб. Оклад инженера - 17000 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	<i>-Анализ конкурентных технических решений -SWOT-анализ</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - затраты на специальное оборудование для научных работ - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.</i>
3. <i>Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР</i>	<i>Определение эффективности исследования</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. *Оценочная карта конкурентных технических решений*
2. *График Ганта*
3. *Расчет бюджета затрат НИ*

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Николаенко В. С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Д41	Пищулина Дарья Павловна		

Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследования являются поликлиники, медико-диагностические центры, сурдологические центры.

Целью работы является проектирование и создание конкурентоспособного аудиометра, отвечающего современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Аудиометром называется электроакустический прибор для измерения остроты слуха.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- Определение потенциальных потребителей результатов исследования;
- Анализ конкурентных технических решений;
- SWOT-анализ;
- Планирование научно-исследовательских работ;
- Определение эффективности исследования.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Подробный анализ конкурирующих разработок помогает преждевременно производить коррективы в научном исследовании, для более успешной реализации на рынке. Особое значение имеет объективное оценивание как сильных, так и слабых сторон разработок, готовых к реализации на рынке.

С этой целью необходимо рассмотреть всю имеющуюся информацию о конкурентных наработках:

- технические характеристики разработки;

- конкурентоспособность разработок;
- степень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- количество средств затраченных на разработки;
- степень интеграции на рынке;

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

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,2	3	5	4	0,6	1	0,8
2. Наличие связи прибора с ПК	0,05	0	5	1	1	1	0,2
3. Качество интеллектуального интерфейса	0,1	5	5	3	0,3	0,5	0,3
4. Энергоэкономичность	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
5. Масса-габаритные параметры	0,1	7	3	5	0,4	0,3	0,5
6. Автоматизированный режим обследования	0,1	0	3	3	0	0,15	0,15
7. Простота эксплуатации	0,1	7	1	6	0,4	0,1	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	6	4	0,5	0,6	0,4
2. Цена	0,1	6	3	4	0,5	0,3	0,4
Итого	1	37	36	34	3,95	4,2	3,55

Ф – разрабатываемый аудиометр, К1 – прибор Нейро-аудио компании «Нейрософт» с полным набором субъективных и объективных методик, К2 – клинический аудиометр АС 40 компании «Interacoustics».

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 5.1, подбираются, исходя из

выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Каждый показатель конкурентов оценивается 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:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента,

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

Из таблицы 5.1 можем видеть, что разрабатываемый прибор уступает Нейро-аудио по многим параметрам. Среди них: функциональная мощность, качество интеллектуального интерфейса отсутствие автоматизированного режима обследования. В дальнейшем, для удержания продукта на рынке, необходимо совершенствовать эти параметры.

Сильными сторонами прибора в сравнении с АС 40 простота эксплуатации и энергоэкономичность. Кроме того, он имеет наименьшую цену в сравнении с аналогами.

5.1.3 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.

Таблица 5.2 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Высокая энергоэффективность за счет использования 8 - разрядного микроконтроллера	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Реализация только одной методики аудиометрии. Сл2. Использование непрофессиональных наушников, что требует проведения процедуры в
--	---	--

	ATMEGA128AU с низким энергопотреблением. С2. Высокая надежность, обусловленная использованием цифровых, а не механических потенциометров. С3. Экономичность за счет использования недорогих наушников при условии наличия схемы коррекции амплитудно-частотной характеристики наушников. С4. Высокая мобильность прибора. С5. Квалифицированный персонал.	звукоизолированном помещении. Сл3. Необходимость дополнительного оборудования для получения амплитудно-частотной характеристики наушников и калибровки прибора (генератор и шумомер). Сл4. Большой срок поставки электронных компонентов. Сл5. Отсутствие бюджетного финансирования.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Получение профессиональной аудиограммы в любом месте. В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследований В5. Повышение стоимости конкурентных разработок		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Удорожание импортных электронных компонентов в связи с нестабильной ситуацией на валютном рынке. У3. Появление новых методик аудиометрии. У4. Увеличение конкуренции. У5. Использование прибора и ПО в учреждениях с маломощными компьютерами.		

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи 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 5.3.1 – Интерактивная матрица проекта: сильные стороны и возможности

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	-	+	-
	B2	-	-	-	-	+
	B3	-	-	+	+	+
	B4	+	+	+	-	-
	B5	-	-	+	-	-

Сильно коррелирующие сильные стороны и возможности:

- B1C1C2C4;
- B3C3C4C5;
- B4C1C2C3;
- B3B4B5C3.

Таблица 5.3.2 – Интерактивная матрица проекта: сильные стороны и угрозы

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	Y1	-	-	-	-	+
	Y2	+	+	-	-	-
	Y3	-	0	-	-	+
	Y4	-	-	-	+	+
	Y5	-	-	-	+	-

Сильно коррелирующие сильные стороны и угрозы:

- Y2C1C2;
- Y4C4C5;
- Y3Y4C5;
- Y4Y5C4.

Таблица 5.3.3 – Интерактивная матрица проекта: слабые стороны и возможности

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	+	+	-	+
	B2	-	-	-	-	+
	B3	+	+	-	-	-
	B4	-	-	-	+	-
	B5	+	-	-	-	-

Сильно коррелирующие слабые стороны и возможности:

- B1Сл2Сл3Сл5;
- B3Сл1Сл2;
- B1B2Сл5.

Таблица 5.3.4 – Интерактивная матрица проекта: слабые стороны и угрозы

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	-	-	-	-
	У2	-	-	-	+	+
	У3	-	+	-	-	-
	У4	+	+	-	-	-
	У5	-	-	-	-	-

Сильно коррелирующие слабые стороны и угрозы:

- У2Сл4Сл5;
- У4Сл1Сл2.

Составив и проанализировав интерактивную матрицу проекта, составим итоговую матрицу SWOT-анализа.

Таблица 5.4 – Полная матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Высокая энергоэффективность за счет использования 32-разрядного микроконтроллера STM32. С2. Высокая надежность, обусловленная использованием цифровых, а	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие реализации некоторых распространенных методик аудиометрии. Сл2. Использование непрофессиональных наушников, что требует проведения процедуры в
--	--	---

	не механических потенциометров.	звукоизолированном помещении.
--	------------------------------------	----------------------------------

Продолжение таблицы 5.4

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С3. Экономичность за счет использования наушников при условии наличия схемы коррекции амплитудно-частотной характеристики. С4. Мобильность прибора. С5. Квалифицированный персонал.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл3. Необходимость дополнительного оборудования для получения амплитудно-частотной характеристики наушников. Сл4. Большой срок поставки электронных компонентов. Сл5. Отсутствие бюджетного финансирования.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Получение профессиональной аудиограммы в Сурдологическом центре В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях В5. Повышение стоимости конкурентных разработок	- Использование инновационной инфраструктуры ТПУ является решающей возможностью для реализации энергоэффективного, надежного и мобильного прибора. - Появление дополнительного спроса способствует экономичности, мобильности прибора, а также требует роста числа квалифицированных специалистов для работы с аудиометром. - Поскольку основные электронные компоненты в разработке аудиометра являются импортными, снижение таможенных пошлин позволяет использовать их в большем количестве. - Экономичность прибора только укрепит его позиции на рынке в случае повышения стоимости конкурентных разработок, снижения таможенных пошлин.	- Эффективное использование инновационной инфраструктуры ТПУ позволит применять в разработке профессиональные аудиометрические наушники и своевременно находить дополнительное оборудование для исследований. - В случае появления дополнительного спроса на новый прибор разрабатываемый аудиометр будет проигрывать остальным в виду отсутствия реализации некоторых распространенных методик аудиометрии и использования непрофессиональных наушников. - Отсутствие бюджетного финансирования затрудняет использование инфраструктур площадок, не входящих в ТПУ.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Удорожание импортных электронных компонентов в связи с нестабильной ситуацией на валютном рынке.	- В случае удорожания импортных электронных компонентов прибор будет проигрывать в экономичности. - Приборы компаний-конкурентов также обладают мобильностью и разрабатываются для	- Удорожание импортных электронных компонентов при отсутствии бюджетного финансирования негативно сказывается на сроках разработки прибора. - При увеличении конкуренции необходимо обратить внимание на реализацию необходимых

У3. Появление новых методик аудиометрии. У4. Увеличение конкуренции. У5. Использование прибора и ПО в учреждениях с маломощными компьютерами.	квалифицированных специалистов. - Появление новых методик аудиометрии вместе с увеличением конкуренции потребуют повышать квалификацию разработчиков.	для полного обследования методик аудиометрии и применять профессиональные аудиометрические наушники.
---	--	--

Из матрицы SWOT видно, что необходимо сделать упор на сильные стороны проекта, а именно: «Экономичность» и «Квалифицированный персонал», поскольку именно они связаны с наибольшим количеством возможностей. Что касается слабых сторон проекта, то следует приложить усилия для реализации всех методик аудиометрии, необходимых для полного обследования пациента, а также иметь в виду появление новых методик. Использование непрофессиональных наушников со схемой коррекции АЧХ хоть и влечет за собой угрозы, одновременно с этим обуславливает экономичность прибора.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Таблица 5.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор темы ВКР	1	Постановка задачи	Научный руководитель
Разработка технического задания	2	Составление и утверждение ТЗ	Научный руководитель, инженер
	3	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
	4	Изучение методик аудиометрии	Инженер

Подбор и изучение материалов по тематике	5	Обзор аудиометрических наушников	Инженер
	6	Обзор аттенюаторов	Инженер
	7	Исследование слуха в Томском сурдологическом центре	Инженер
Программирование	8	Изучение микроконтроллера ATMEGS128AU	Инженер

Продолжение таблицы 5.5

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
	9	Программа, реализующая генерацию синусоидального сигнала на микроконтроллере	Инженер, научный руководитель
	10	Программа, реализующая связь с ПК	Инженер, научный руководитель
Программирование	11	Программа для управление цифровыми резисторами	Инженер, научный руководитель
	12	Интерфейс для ПК	Инженер, научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	13	Выбор структурной схемы	Инженер, научный руководитель
	14	Выбор принципиальной схемы	Инженер, научный руководитель
	15	Определение амплитудно-частотной и амплитудной характеристик исследуемых наушников	Инженер, научный руководитель
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	16	Расчет принципиальной схемы устройства	Инженер, научный руководитель
Изготовление и испытание макета (опытного образца)	17	Разработка макета устройства	Инженер, научный руководитель
	18	Проведение экспериментальных исследований	Инженер, научный руководитель
	19	Корректировка параметров принципиальной схемы устройства	Инженер, научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	20	Оформление расчетно-пояснительной записки	Инженер, научный руководитель
	21	Оформление графического материала	Инженер, научный руководитель
	22	Доклад и презентация	Инженер, научный руководитель

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{махи}}{5}$$

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

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

$t_{махи}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}$$

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

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-
дн.

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

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5.4)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности. Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году (ТКАЛ = 365);

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году (ТВД = 52);

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году (ТПД = 12).

Таблица 5.6 – Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоёмкость работ						Исполнители		Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	$t_{\min}$, чел-дни		$t_{\max}$, чел- дни		$t_{ож\bar{i}}$, чел-дни							
	Н Р	И	Н Р	И	Н Р	И	Н Р	И	НР	И	НР	И
1	3	0	4	0	3,4	0	1	0	3	0	4	0
2	5	2	10	3	7	2,4	1	1	3	1	4	1
3	2	0	4	0	2,8	0	1	0	3	0	3	0
4	0	10	0	20	0	14	0	1	0	14	0	17
5	0	4	0	6	0	4,8	0	1	0	5	0	6
6	0	2	0	3	0	2,4	0	1	0	2	0	3
7	0	1	0	2	0	1,4	0	1	0	1	0	2

Продолжение таблицы 5.6

8	0	10	0	20	0	14	0	1	0	14	0	17
9	3	10	4	20	3,4	14	1	1	2	7	2	8
10	1	10	2	20	1,4	14	1	1	1	7	1	8
11	3	10	6	20	4,2	14	1	1	2	7	3	8
12	1	10	2	20	1,4	14	1	1	1	7	1	8
13	1	4	2	8	1,4	5,6	1	1	1	3	1	3
14	3	7	5	14	3,8	9,8	1	1	2	5	2	6
15	1	2	2	4	1,4	2,8	1	1	1	1	1	2
16	1	2	1	3	1	2,4	1	1	1	1	1	1
17	3	10	5	15	3,8	12	1	1	2	6	2	7
18	1	2	2	4	1,4	2,8	1	1	1	1	1	2
19	1	3	2	5	1,4	3,8	1	1	1	2	1	2
20	1	10	2	15	1,4	12	1	1	1	6	1	7
21	1	4	1	6	1	4,8	1	1	1	2	1	3
22	1	1	1	2	1	1,4	1	1	1	1	1	1
Итого	32	11 4	55	21 0	41, 2	152, 4	17	20	27	93	29	114

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Д41	Пищулина Дарья Павловна

Школа		Отделение школы (НОЦ)	
Уровень образования		Направление/специальность	

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:
 - вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)
 - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)
 - негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)
 - чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:
 - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
 - действие фактора на организм человека;
 - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
 - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности
 - механические опасности (источники, средства защиты);
 - термические опасности (источники, средства защиты);
 - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);

– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООТД ШБИП	Мезенцева И. Л.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Д41	Пищулина Дарья Павловна		

Глава 6. Социальная ответственность

Введение

Наиболее важным тестом для выявления нарушений функции слухового анализатора является тональная пороговая аудиометрия. Тональная пороговая аудиометрия проводится с помощью специального прибора – аудиометра. Этот прибор может генерировать чистые тоны различной частоты и интенсивности, и передавать их через головные телефоны (наушники) либо костный вибратор. Пациент, в свою очередь, нажимая на кнопку, сообщает врачу о том, что звук услышан.

Данная процедура исследует порог слышимости тонов различной частоты. Звуковой диапазон частот составляет 125-8000 Гц. В ходе процедуры специалисту необходимо определить минимальный уровень слышимости больного. Результат аудиометрии выражается посредством составления аудиограммы – графика, который наглядно демонстрирует степень снижения слуха. Именно по аудиограмме врач может поставить диагноз и назначить в соответствие с этим лечение.

Актуальность разработки аудиометров обоснована высокой заболеваемостью слухового анализатора как у людей старшего поколения, так и детей. Известно, что при диагностировании заболевания на ранней стадии наиболее вероятны успех терапии и выздоровление пациента. Показаниями к обследованию являются: плохая слышимость при разговоре с собеседником, тугоухость острой и хронической формы, отит, атеросклероз, при выборе оптимального слухового аппарата.

Также исследование широко используется в сурдологии для оценки остроты слуха как у новорожденных, так и у взрослых. С помощью аудиометрии можно выявить нарушения абсолютно всех отделов уха, а также определить степень снижения слуха.

6.1 Производственная безопасность

Объектом исследования является система управления тональным аудиометром. Вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при разработке и эксплуатации устройства представлены в таблице 1.

Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы при разработке аудиометра в лабораторных условиях

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Разработка принципиальной схемы 2. Расчет параметров компонентов электронной схемы и их выбор 3. Создание макета электронной схемы для проверки ее функционирования 4. Написание программы 5. Доработка электронной схемы по результатам тестирования 6. Эксплуатация аудиометра	1. Отклонение параметров микроклимата 2. Недостаток естественного света 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны 4. Повышенный уровень шума на рабочем месте 5. Вредные вещества в воздухе рабочей зоны 6. Повышенный уровень электромагнитных излучений	1. Электрический ток 2. Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1. СанПиН 2.2.4-548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. 2. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. 3. ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. 3. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. 4. ГОСТ 12.3.004-75 ССБТ. Термическая обработка металлов. Общие требования безопасности. 5. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих

			местах и требования к проведению контроля.
--	--	--	--

6.1.1 Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

6.1.1.1 Отклонение параметров микроклимата

Параметры микроклимата определяют теплообмен организма человека и оказывают существенное влияние на функциональное состояние различных систем организма, самочувствие, работоспособность и здоровье.

Показателями, характеризующими микроклимат в помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха.

Температура в помещениях является одним из ведущих факторов, определяющих условия производственной среды. Как высокие, так и низкие температуры оказывают отрицательное воздействие на здоровье человека. Работа в условиях высокой температуры сопровождается интенсивным потоотделением, что приводит к обезвоживанию организма, потере минеральных солей и водорастворимых витаминов, вызывает серьезные и стойкие изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы, увеличивает частоту дыхания, а также оказывает влияние на функционирование других органов и систем – ослабляется внимание, ухудшается координация движений, замедляются реакции и т. д.

При воздействии на организм человека отрицательных температур наблюдается сужение сосудов пальцев рук и ног, кожи лица, изменяется обмен веществ. Низкие температуры воздействуют также и на внутренние органы, и длительное воздействие этих температур приводит к их устойчивым заболеваниям.

Влажность воздуха также является важным параметром, который оказывает значительное влияние на терморегуляцию организма человека. Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма. При низкой температуре высокая относительная влажность увеличивает теплопотери организма, это ведет к переохлаждению организма – гипотермии. Низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей работающего.

Изменения температура и влажности воздуха в помещении может быть вызвано следующими факторами: изменение температуры среды вне помещения, время года, время суток, одновременное нахождение в помещении большого количества людей. В лаборатории следует обеспечивать оптимальные или допустимые параметры микроклимата, приведенные в таблицах 6.2 и 6.3.

Таблица 6.2 – Оптимальные показатели микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24 °С	40-60	0,1
Теплый	23-25 °С	40-60	0,1

Таблица 6.3 – Допустимые показатели микроклимата

Период года	Температура, °С		Относительная влажность не более, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Допустимая граница на постоянных рабочих местах	Допустимая граница на непостоянных рабочих местах		Допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных
Холодный	21 – 25 °С	18 – 26 °С	75	Не более 0,1
Теплый	22 – 28 °С	20 – 30 °С	55 (при 28 °С)	0,1-0,2

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 разработка системы управления аудиометром относится к категории 1а (легкая физическая работа), так как – это работа, производимая сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением. Нормы взяты из ГОСТ 12.1.005-88.

Мероприятиями по оздоровлению воздушной среды в помещении являются: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, в зимнее время – водяная система отопления помещения с применением радиаторов.

6.1.1.2 Недостаточная освещённость рабочей зоны

Освещение в недостаточной степени может привести к напряжению зрения, ослаблению внимания и наступлению преждевременной утомленности. Слепление, резь в глазах и раздражение могут быть вызваны чрезмерно ярким освещением. Свет на рабочем месте может создать сильные тени или отблески, а также дезориентировать работающего. Основным документом, регламентирующим нормы освещенности, является СП 52.13330.2011.

В лаборатории выполняются работы средней точности с эквивалентным размером объекта различения от 0,5 до 1 мм, разряд зрительной работы – 4, подразряд – Г. Освещенность рабочей поверхности от систем общего освещения должна составлять не менее 200лк.

При выполнении работ рекомендуется совмещенное освещение. Естественное освещение является для человека физиологически необходимым и наиболее благоприятным. Однако оно не может в полной мере обеспечить его нормальную жизнедеятельность. Из-за этого дополнения к нему необходимо искусственное освещение. Целесообразнее использовать комбинированное искусственное освещение, так как при таком освещении происходит равномерное распределение света по всей площади и дает возможность выделить необходимые объекты или зоны. Согласно СП 52.13330.2011 качестве источника света в лаборатории рекомендуется использовать газоразрядные лампы низкого давления белой цветности. Коэффициент пульсации ламп K_p не должен превышать 20%. Коэффициент естественной освещенности должен составлять 2,4%. Коэффициент

естественного освещения (КЕО) при совмещенном освещении равен 2,4% при верхнем или комбинированном освещении и 0,9% при боковом освещении.

6.1.1.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Шум – это общебиологический раздражитель, который оказывает негативное воздействие на сердечно-сосудистую и нервную системы, может привести к понижению слуха и снижению работоспособности труда. В первую очередь влияние шума сказывается на структурах головного мозга, что вызывает неблагоприятные изменения в функциях различных органов и систем. ГОСТ 12.1.003-83 устанавливает оптимальный уровень шума в лабораториях в 60 дБ А. Длительное воздействие шума, который достигает уровня 70-90 дБ может привести к заболеваниям центральной нервной системы. Вследствие воздействия шума у человека появляются раздражительность, нервозность, рассеянность, снижение реакции и работоспособности.

Шумовой фон лаборатории создают три одновременно работающих компьютера, принтер, система вентиляции. Во избежание негативных последствий от шума, его необходимо регулировать в соответствии с нормами, которые указаны в ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Общие требования безопасности».

Допустимые уровни звука для рабочего места в лабораториях согласно вышеуказанному ГОСТу 12.1.003-83 представлены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Допустимые уровни звука для рабочего места в лабораториях

Вид трудовой деятельности	Уровни звука и звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ А
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
				0	0	0	0	0	0	
Предприятия, учреждения и организации										
Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности,	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60

административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории: рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, лабораториях.										
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Для снижения уровня шума в лаборатории рекомендуются следующие мероприятия:

- замена шумного устаревшего оборудования, при проектировании – выбором оборудования с лучшими шумовыми характеристиками;
- обеспечить максимально возможное расстояние между рабочим местом и источниками шума – за счет проведения архитектурно-планировочных мероприятий;
- рациональная планировка помещений с ПК, позволяющая исключить проникновение шумов из соседних помещений.

6.1.1.4 Вредные вещества в воздухе рабочей зоны

На этапе создания макета электронной схемы для проверки ее функционирования осуществляется пайка электронных компонентов на печатной плате. Пайка производится преимущественно оловянно-свинцовым припоем с использованием канифоли. Вредные вещества, выделяющихся при операциях пайки, лужения поступают в воздух рабочей зоны, в виде паров, газов, аэрозолей. В таблице 6.5 приводятся класс опасности и предельно допустимые концентрации (ПДК) для некоторых припоев, флюсов и выделяющихся газов.

Таблица 6.5 – Предельно допустимые концентрации припоев, флюсов и выделяющихся газов

Вещество (составы)	Класс опасности	ПДК в воздухе, мг/м ³
Припой ПОС 40, ПОС 61	1	0,01 (по свинцу)

ПОЦ 10, ПОЦ 55	3	10 (по олову)
Компоненты флюсов:		
бензин	4	300
триэталомин	3	5
этилацетат	4	200
Газы:		
окислы азота	2	5
углеводороды	4	300

Вредные вещества попадая в организм человека оказывают на него токсическое действие. Характерными симптомами отравления свинцом являются бледность лица, потеря внимания, плохой сон, склонность к частой смене настроения, повышенная раздражительность, агрессивность, быстрая утомляемость, а также металлический привкус во рту, расстройства пищеварения, потеря аппетита, острые боли в животе со спазмами абдоминальных мускулов («свинцовые колики»). Обычным является изменение состава крови – от ретикулоцитоза, анизоцитоза и микроцитоза до свинцовой анемии. На более поздних стадиях наблюдаются головная боль, головокружение, потеря ориентации и проблемы со зрением. Специфическое почернение («свинцовая линия») может появиться у основания десен. Возможен паралич («свинцовые судороги»), обычно затрагивающий в первую очередь пальцы и кисти рук. У детей может быть поврежден головной мозг, что может привести к слепоте или глухоте или даже летальному исходу.

При отравлении оловом ухудшается общее самочувствие, появляются запоры, головокружения; постоянные головные боли; расстройства зрения; раздражение кожи; снижение аппетита; металлический привкус во рту; тошнота, боли в животе; увеличение печени; гипергликемия; снижение содержания в организме цинка и меди. т. п.

Стоит отметить, что недолгое вдыхание токсичных паров бензина, может привести к отравлению легкой и средней тяжести. По симптоматике такое отравление напоминает алкогольное опьянение и характеризуется следующими признаками: у пострадавшего присутствует смех без явных причин и немотивированная эйфория; неуверенность походки и

головокружение; сердцебиение быстрее обычного; иногда – приступы тошноты и даже рвоты; ослабленность организма; покраснение кожи.

Триэтанол – обладает раздражающим действием на кожу и слизистые оболочки глаз. Опасен при попадании внутрь. Поражает центральную нервную систему.

Отрицательно на организм человека воздействуют не только компоненты флюсов и припоев, а так же газы окислы азота и углеводородов.

Оксид углерода (CO), бесцветный газ без запаха, обладает выраженным отравляющим действием, которое обусловлено его способностью вступать в реакцию с гемоглобином крови, приводя к образованию карбоксигемоглобина, который не связывает кислород. Вследствие этого нарушается газообмен в организме, появляется кислородное голодание и возникает нарушение функционирования всех систем организма. Характер отравления оксидом углерода зависит от его концентрации в воздухе. Легкая степень отравления вызывает пульсацию в голове, потемнение в глазах, головокружение, головную боль и усталость, повышенное сердцебиение. При тяжелом отравлении сознание затуманивается, возрастает сонливость. При очень больших дозах угарного газа (свыше 1 %) наступают потеря сознания и смерть.

Так же для человеческого организма оксиды азота еще более вредны, чем угарный газ. Общий характер воздействия меняется в зависимости от содержания различных оксидов азота: NO_2 , N_2O_3 , N_2O_4 . Наибольшую опасность представляет NO_2 . Воздействие оксидов азота на человека приводит к нарушениям функций легких и бронхов. В воздухе оксиды азота в зависимости от концентрации вызывают: раздражения слизистых оболочек носа и глаз $C = 0,001$ об. % , начало кислородного голодания $C = 0,001$ об. % , отек легких $C = 0,008$ об. %.

При контакте диоксида азота с влажной поверхностью (слизистые оболочки глаз, носа, бронхов) образуются азотная и азотистая кислоты, раздражающие слизистые оболочки и поражающие альвеолярную ткань

легких. При высоких концентрациях оксидов азота (0,004 — 0,008 %) возникают астматические проявления и отек легких. Вдыхая воздух, содержащий оксиды азота в высоких концентрациях, человек не имеет неприятных ощущений и не предполагает отрицательных последствий. При длительном воздействии оксидов азота в концентрациях, превышающих норму, люди заболевают хроническим бронхитом, воспалением слизистой желудочно-кишечного тракта, страдают сердечной слабостью, а также нервными расстройствами.

Вредные вещества попадая в организм через органы дыхания на слизистые оболочки, оказывают отрицательное воздействие на организм, поэтому для предотвращения последствий данного воздействия необходимо провести мероприятия по защите от действия вредных веществ, ими являются: оснащение рабочего места вытяжной вентиляцией, использование индивидуальных средств защиты.

6.1.2 Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

6.1.2.1 Электрический ток

Источниками опасности поражения электрическим током на рабочем месте можно считать: офисное оборудование (ПК), 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.

Причинами электропоражения являются: провода с поврежденной изоляцией, приближение к токоведущим частям, розетки сети без предохранительных кожухов, перегрузка розеток по мощности. Документом регламентирующим предельно допустимые уровни (ПДУ) напряжений и токов является ГОСТ 12.1.038 – 82. Электрический ток оказывает на организм человека негативное воздействие:

- термическое воздействие (ожоги отдельных участков тела, нагрев до высоких температур кровеносных сосудов);

- биологическое воздействие (судорожное сокращение и нарушение внутренних биоэлектрических процессов).

- и тд.

Согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 для предотвращения поражения электрическим током рекомендуется проводить следующие технические и организационные мероприятия

Технические мероприятия:

- применение устройств (предохранителей, отключающих реле и т. п.) защиты электроустановок и сетей от перегрузок, а также токов коротких замыканий;

- защиту людей от прикосновения к токоведущим частям оборудования посредством изоляции токоведущих частей электрооборудования, установки защитных ограждений;

- защита от поражения электрическим током при переходе напряжения на металлические корпуса электроустановок; устройство защитного заземления;

- зануление электроустановок в сетях с глухо-заземленной нейтралью;

- применение защитного отключения;

- выравнивание потенциалов электрооборудования и земли в местах нахождения людей.

К организационным мероприятиям относится первичный инструктаж по технике безопасности. Данный инструктаж является обязательным условием для допуска к работе в помещении.

Также перед началом выполнения работы необходимо проверить, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей. Если обнаружены неисправности, то сообщить об этом ответственному лицу за оборудование. В случае нахождения неисправности прибор отключается от сети (ГОСТ 12.2.003-91). Все приборы должны

находится на своих местах и иметь защитное заземление с сопротивлением не более 4 Ом согласно ГОСТ 12.1.030-81.

6.1.2.2 Термическая безопасность

Для разработки устройства используются приборы с высокой рабочей температурой, такие как паяльная станция.

Согласно ГОСТ 12.3.004-75 нагретые в процессе обработки детали, размещаются в местах, оборудованных вытяжной вентиляцией. При термической обработке применяются пожаробезопасные жидкости и материалы. А также все термически опасное оборудование оснащено термоизоляционными ручками и специальными местами размещения.

Риск термического поражения тканей возникает при монтаже печатного узла, где основную опасность представляет паяльная станция, а также 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). 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.

6.1.3 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования

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

Предельно допустимый уровень напряженности электростатических полей согласно ГОСТ 12.1.045-84 устанавливается равным 60 кВ/м в течение 1 ч. При напряженности электростатических полей менее 20 кВ/м время пребывания в электростатических полях не регламентируется.

Электромагнитное излучение опасно для оператора в диапазоне частот $f = 60\text{кГц} \dots 300\text{ ГГц}$ в зависимости от уровня излучения. В нижней части диапазона от 60кГц до 300МГц электромагнитное излучение измеряют и оценивают уровнем напряжённости электрического и магнитного поля. Например, допустимые значения напряжённости E электрического поля даны в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Допустимые значения напряжённости E электрического поля при различных частотах

f , МГц	0,06- 3	3 - 30	30 - 50	50 - 300
E , В/м	50	20	10	5

Для управления прибором используется компьютер, который также является источником электромагнитных излучений. Предельно допустимые нормы электромагнитного излучения при работе за ПК представлены в таблице 6 согласно СанПиНу 2.2.2/2.4.1340-03.

Таблица 6.6 – Предельно допустимые нормы электромагнитного излучения при работе за ПК

Параметр	Диапазон частот	Предельно допустимые значения
Напряженность электрического поля	5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500В

Для уменьшения электромагнитного излучения от разрабатываемого прибора рекомендуется его экранирование, однако, ввиду наличия отверстий в корпусе, необходимых для вентиляции, полностью экранировать излучение невозможно. В процессе работы с компьютером необходимо соблюдать правильный режим труда и отдыха, а также применять такие мониторы, у которых уровень излучения понижен (MPR-II, TCO-92, TCO-99).

6.2 Экологическая безопасность.

6.2.1 Анализ влияния объекта на окружающую среду

Отрицательного воздействия на окружающую среду в процессе работы прибор не оказывает. Однако, производство и утилизация данного прибора стоит проводить в специальных условиях. Поскольку, печатные платы также оказывают негативное влияние на окружающую среду из-за высокой концентрации в них токсичных веществ. Наличие разнообразных высокотоксичных материалов и тяжелых металлов в электронном устройстве делает захоронение на свалке или простое сжигание неприемлемым.

Электронное устройство содержит в себе золото и серебро алюминий, медь и железо, стекло и прочий материал полимерного типа. Некоторые материалы являются дорогостоящими и относятся к невозобновимым ресурсам планеты, поэтому целесообразно их вторичное использование.

Таким образом, утилизация электронных устройств необходима из-за наличия в них опасных для окружающей среды веществ, а также возможности

вторичного использования некоторых компонентов. Электронное устройство необходимо сдать в специальный пункт для утилизации. Если поступающая на утилизацию электроника не может быть отремонтирована, все токсичные материалы предварительно удаляются, чтобы они не несли опасности на свалке.

В случае необходимости конструктивные узлы устройства могут быть использованы повторно. Обращение с люминесцентными лампами в лаборатории должен осуществлять специализированный персонал организации.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В лаборатории проводятся работы, связанные с обработкой или применением твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой вспышки паров выше 120° С., поэтому помещение по степени пожароопасности относится к классу В согласно СП 12.13130.2009.

Причинами пожара могут быть:

- токи короткого замыкания;
- неисправность электросетей;
- незнание или небрежность обслуживающего персонала;
- курение в неположенных местах.

В связи с этим на рабочем месте 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.

Всякий работник при обнаружении пожара должен (ППБ 01-03):

- незамедлительно сообщить об это в пожарную охрану;
- принять меры по эвакуации людей, каких-либо материальных ценностей согласно плану эвакуации;
- отключить электроэнергию, приступить к тушению пожара первичными средствами пожаротушения.

При возникновении пожара должна сработать система пожаротушения, передав на пункт пожарной станции сигнал о ЧС. В случае если система не сработала, то необходимо самостоятельно произвести вызов пожарной службы по телефону 101, сообщить место возникновения ЧС и ожидать приезда специалистов.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.4.1 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.

6.4.2 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 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. Согласно ГОСТ 12.2.032-78 помещение не должно быть загромождено.

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 согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Заключение

В данной работе был разработан макет тонального аудиометра. Для этого был проведен литературный обзор по следующим пунктам:

- методики аудиометрии;
- аудиометры;
- аудиометрические наушники.

Для макета аудиометра была разведена и изготовлена печатная плата.

Управляющим элементом схемы является микроконтроллер *ATMEGA128U*. Программа микроконтроллера реализует: вывод синусоидального сигнала; одностороннюю связь с пациентом по средствам кнопки.

Интерфейс позволяет пользователю получить аудиограмму сразу после завершения процедуры исследования. Вовремя исследования (выбирать исследуемое ухо, задавать частоту и уровень звукового сигнала), получить на выходе аудиограммы.

Интерфейс и программа для микроконтроллера были написаны на языках программирования C++ и C соответственно.

В результате проведенных экспериментов были сняты осциллограммы, иллюстрирующие работу схемы. Было выявлено, что частоты и уровни сигнала изменяют корректно в соответствии с программой микроконтроллера. Однако уровни напряжения необходимо пронормировать, исходя из величины звукового давления, получаемого с наушников и выраженного в дБ. Для этого необходимо произвести калибровку специальным оборудованием (искусственное ухо).

В дальнейшей работе планируется реализация двухсторонней связи с ПК и расширение методики аудиометрии в дополнение к тональной аудиометрии.

Список использованной литературы и источников

1. Medbe.ru слуха® – метод исследования органа слуха и слуховой трубы [Электронный ресурс] / Медицина – новости и технологии: профилактика и лечение болезней взрослых и детей – Режим доступа: <http://medbe.ru/materials/ukho/metody-issledovaniya-organa-slukha-i-slukhovoy-truby/>, свободный. – Методы исследования органа слуха и слуховой трубы. – Яз. рус. (дата обращения 20/09/2017).
2. Euromax. Cochlear® – решения в области слуха [Электронный ресурс] / Портал о слухе – Режим доступа: <http://eu-max.ru/blog/audiogram/>, свободный. – Как расшифровать аудиограмму – подробное руководство от врача. – Яз. рус. (дата обращения 27/09/2017).
3. Альтман Я.А., Таварткиладзе Г.А. Руководство по аудиологии. – М.: ДМК Пресс, 2003. – 360с.: ил.
4. ГОСТ Р ИСО 8253-1-2012. Акустика. Методы аудиометрических испытаний. Часть 1. Тональная пороговая аудиометрия по воздушной и костной проводимости. – М.: Стандартинформ, 2014. – 31 с.
5. Пеккер Я.С., Бразовский К.С. Компьютерные технологии в медик-биологических исследованиях. Сигналы биологического происхождения и медицинские изображения. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 240 с.
6. Dimitrijevic A. Auditory Steady-State Responses in Normal-Hearing and Hearing-Impaired Adults / A. Dimitrijevic, M. S. John, T. R. Picton // Ear and Hearing. – 2004. – Vol. 25, N1, – P. 68–84.

7. Hearing Threshold Estimation in Infants Using Auditory Steady-State Responses / G. Rance, R. Roper, L. Symons et al. // Journal of the American Academy of Audiology. – 2005. – Vol. 16, N5, – P. 291–300.
8. Rance G. Prediction of Hearing Threshold in Infants Using Auditory Steady State Evoked Potentials / G. Rance, F. Rickards // Journal of the American Academy of Audiology. – 2002. – Vol. 13, N5, – P. 236–245.
9. Левин С.В. Использование слуховых вызванных потенциалов в современных аудиологических исследованиях. Автореф. дис. – СПб., 2009. – 21с.
10. Auditory Steady-State Responses / P. Korczak, J. Smart, R. Delgado et al. // Journal of the American Academy of Audiology. – 2012. – Vol. 23, N3, – P. 146–170.
11. Atlants Embedded [Электронный ресурс] / Portal about Intelligent and Machine Learning Systems – Режим доступа: <http://atlantseembedded.com/b/more-fun-auditory-steady-state-response-assr>, свободный. – More fun with Auditory Steady-State Response (ASSR). – Яз. англ. (дата обращения 22/03/2016).
12. Mordaunt L. Computer assisted management of a regionalized newborn screening program. L. Mordaunt, C. Cunningham, K. Kan // J. Med. Syst. 1988. Vol. 12, №2, – P. 77–88.
13. Plourde G. The human auditory steady-state evoked potentials. G. Plourde, D. R. Stapells, T. W. Picton // Acta Otolaryngologica (Stockh.). – 1991. Vol. 491, № 6, – P. 153–160.
14. Медафарм – Портал о пластической хирургии, медицинском оборудовании и медицине в целом [Электронный ресурс] / Аудиометр, цена. Купить аудиометр – импедансометр Москва – Режим доступа: <http://medafarm.ru/medoborud/medoborudovanie/loroborudovanie/audiometr-y?yclid=148544150378651712/>, свободный. – Аудиометр, цена. Купить аудиометр – импедансометр Москва. – Яз. рус. (дата обращения 27/01/2018).

15. ЛОР – оборудование ведущих производителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.otorino.ru/audiometr-diagnosticheskiy-xeta-otometrics>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 14.09.2017).
16. Максмедтех [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.maxmedtech.ru/аудиометр-maico-ma52>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 19.10.2017).
17. Аудиометры Entomed из Швеции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.entomed.ru/audiometr-diagnosticheskiy-sa-50-entomed>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 10.12.2017).
18. AudioMetr [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://audiometr.ru/amplivox-velikobritaniya/audiometr-portativnyy-270-amplivox> – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 18.12.2017).
19. Foulad Al. (2013). Automated audiometry using apple iOS-based application technology. Al. Foulad, P. Bui, H. Djalilian // Otolaryngology-Head and Neck Surgery. – 2013. – Vol. 149(5), – P. 700–706.
20. Clearwater [Электронный ресурс] / Article – Режим доступа: <https://www.clearwaterclinical.com/tag/audiometric-headphones/>, свободный. – Evaluation of Sennheiser HD 202 for Use in Audiometry. – Яз. англ. (дата обращения 11/06/2017).
21. Occupational exposure to noise: evaluation, prevention and control. World Health Organization. J.R. Franks, B. Goelzer, C.H. Hansen et al. // Hearing measurement. – 2001. – P. 183–232.
22. Audiometric Insert Ear-phones. 3M™ E-A-RTONE™ 3A and 5A. – 2010. – P. 5.
23. Killion M.C. Comments on “Earphones in audiometry” [Zwislocki et al., J. Acoust. Soc. Am. 83, 1688-1689 pp. (1988)] // J. Acoust. Soc. Am., Vol. 85, No. 4. – 1989. – P. 1775–1779.
24. Хасанов И.Н. Акустические измерения. Учебное пособие. – Ташкент: Ташкентский государственный технический университет им. А. Р. Беруни, 2007. – 132 с.

25. GSI 38 Service Manual. Grason-Stadler, Inc. – 1995. – 96 pp.
26. Electronic Components Datasheet Search [Электронный ресурс] / Datasheet – Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/157160/ETC1/L1117.html>, свободный. – L1117. – Яз. англ. (дата обращения 20/05/2017)
27. STMicroelectronics [Электронный ресурс] / Datasheet – Режим доступа: <http://www.st.com>, свободный. – STM32F405xx. – Яз. англ. (дата обращения 20/05/2017)
28. Future Technology Devices International Ltd. [Электронный ресурс] / Datasheet – Режим доступа: <http://www.ftdichip.com>, свободный. – FT232R. – Яз. англ. (дата обращения 10/05/2017)
29. Electronic Components Datasheet Search [Электронный ресурс] / Datasheet – Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=TL074>, свободный. – TL074. – Яз. англ. (дата обращения 20/05/2017)
30. Electronic Components Datasheet Search [Электронный ресурс] / Datasheet – Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ad817>, свободный. – AD817. – Яз. англ. (дата обращения 20/05/2017)
31. Electronic Components Datasheet Search [Электронный ресурс] / Datasheet – Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Adg411br>, свободный. – ADG411BR. – Яз. англ. (дата обращения 20/05/2017)
32. Electronic Components Datasheet Search [Электронный ресурс] / Datasheet – Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=AD8391>, свободный. – AD8391ARZ. – Яз. англ. (дата обращения 20/05/2017)
33. Electronic Components Datasheet Search [Электронный ресурс] / Datasheet – Режим доступа:

<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ad5290>, свободный. – AD5290. – Яз. англ. (дата обращения 20/05/2017)