

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

Институт кибернетики
Направление подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
Кафедра Информатики и проектирования систем

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка программного обеспечения для линейной фильтрации звука
УДК 004.4'277

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8В2Б	Колотовкина Александра Юрьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ИПС	Дёмин Антон Юрьевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. МЕН	Николаенко Валентин Сергеевич	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ЭБЖ	Невский Егор Сергеевич	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ИПС	Дёмин Антон Юрьевич	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные и математические знания в области информатики и вычислительной техники, достаточные для комплексной инженерной деятельности.
P2	Применять базовые и специальные знания в области современных информационных технологий для решения инженерных задач.
P3	Ставить и решать задачи комплексного анализа, связанные с созданием аппаратно-программных средств информационных и автоматизированных систем, с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей.
P4	Разрабатывать программные и аппаратные средства (системы, устройства, блоки, программы, базы данных и т. п.) в соответствии с техническим заданием и с использованием средств автоматизации проектирования.
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования, включающие поиск и изучение необходимой научно-технической информации, математическое моделирование, проведение эксперимента, анализ и интерпретация полученных данных, в области создания аппаратных и программных средств информационных и автоматизированных систем.
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные программно-аппаратные комплексы, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья, безопасность труда, выполнять требования по защите окружающей среды.
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности.
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.
P10	Демонстрировать знания правовых, социальных, экономических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности.
P11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни и непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Ассистент каф. Менеджмента, Николаенко Валентин Сергеевич
Социальная ответственность	Ассистент каф. Экологии и безопасности жизнедеятельности, Невский Егор Сергеевич

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Демин Антон Юрьевич	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8В2Б	Колотовкина Александра Юрьевна		

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

Институт кибернетики
Направление подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника
Уровень образования бакалавр
Кафедра информатики и проектирования систем
Период выполнения осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	17.06.2016 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
	Социальная ответственность	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Демин Антон Юрьевич	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ИПС	Демин Антон Юрьевич	к.т.н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8В2Б	Колотовкиной Александре Юрьевне

Институт	Институт кибернетики	Кафедра	ИПС
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, предоставленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование;
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценка потенциальных потребителей исследования, SWOT-анализ, QuaD-анализ, анализ конкурентных решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование этапов работ, определение трудоемкости и построение календарного графика, формирование бюджета
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка сравнительной эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.05.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. менеджмента	Николаенко В.С.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8В2Б	Колотовкина Александра Юрьевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8В2Б	Колотовкиной Александре Юрьевне

Институт	Кибернетики	Кафедра	ИПС
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1.1. Описание разрабатываемого продукта на предмет возникновения: – угроз доступности – угроз целостности – угроз конфиденциальности	– несанкционированный доступ к информации – раскрытие коммерческой информации – хищение информации – подмена информации
1.1.1. Информация относительно информационной безопасности	№ 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» № 152-ФЗ «О персональных данных»

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1.2. Конфиденциальность – предметная – служебная	Служебная информация (например, пароли пользователей) в информационной системе она играет техническую роль, но ее раскрытие особенно опасно, поскольку оно чревато получением несанкционированного доступа ко всей информации, в том числе предметной.
1.3. Правовые и организационные средства безопасности: – возможные средства защиты информации; – применяемые средства защиты информации.	Во избежание непреднамеренных ошибок штатных пользователей применяются следующие меры: тщательно отбирается персонал, формируется техническая документация, а программа разрабатывается согласно заявленным требованиям.
1.4. Программно-технические средства безопасности: – возможные средства защиты информации; – применяемые средства защиты информации.	Применяются следующие технические меры: аутентификация, управление доступом, протоколирование, анализ защищенности и экранирование и обеспечение отказоустойчивости.

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	14.05.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф.ЭБЖ	Невский Е.С.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8В2Б	Колотовкина Александра Юрьевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 78 с., 16 рис., 12 табл., 13 источников, 4 прил.

Ключевые слова: редактор звуковых сигналов, цифровая обработка звуковых сигналов, дискретный сигнал, аналоговый сигнал, преобразование Фурье, цифровой сигнал, линейный фильтр.

Объектом исследования является технология создания линейного фильтра звуковых сигналов.

Цель работы – создание линейного фильтра звуковых сигналов.

В процессе исследования проводилось изучение технологии работы с дискретными и цифровыми сигналами.

В результате исследования был создан и размещен в сети интернет фильтр звуковых сигналов, реализованы функции линейного фильтра, а также вспомогательные функции.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: язык программирования – C#.

Область применения: обработка звуковых сигналов, изучение курсов «Мультимедийные технологии» в учебных заведениях.

Экономическая эффективность работы: данная разработка не требует установки аналогичного программного обеспечения на компьютер пользователя, что значительно сокращает время фильтрации сигналов.

В будущем планируется расширение функционала редактора, разработка нового дизайна, интеграция с социальными сетями, а также размещение сайта на платном хостинге.

Обозначения и сокращения

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика

БИХ – бесконечная импульсная характеристика

БПФ – быстрое преобразование Фурье

ДВС – дискретная временная свертка

КИХ – конечная импульсная характеристика

НФ, НЦФ – нерекурсивный (нерекурсивный цифровой) фильтр

ПЛИС – программируемая логическая интегральная схема

РФ, РЦФ – рекурсивный (рекурсивный цифровой) фильтр

ФВЧ и ФНЧ – фильтры верхних и нижних частот

ФЧХ – фазочастотная характеристика

ЦАП – цифроаналоговый преобразователь

ЦОС – цифровая обработка сигналов

ЦСП – цифровой сигнальный процессор

ЦФ – цифровой фильтр

Оглавление

Введение.....	13
1. Дискретные и цифровые сигналы и системы.....	14
1.1. Сигналы и их преобразования при цифровой обработке.....	14
1.1.1. Общая структура системы цифровой обработки аналоговых сигналов.....	16
1.1.2. Математические модели дискретных сигналов.....	18
1.1.3. Спектр дискретного сигнала.....	20
1.1.4. Квантование сигналов по уровню.....	22
1.1.4.1. Способы квантования.....	23
1.1.4.2. Погрешность квантования.....	23
1.1.5. Цифровое кодирование сигнала.....	25
2. Математические описания и характеристики дискретных систем.....	26
2.1. Методы математического описания линейных дискретных систем во временной области и алгоритмы цифровой фильтрации на их основе.....	27
2.1.1. Дискретная временная свертка. Цифровые фильтры БИХ- и КИХ-типа.....	27
2.2. Методы математического описания сигналов дискретных систем на комплексной плоскости (в частотной области).....	28
2.2.1. Z-преобразование дискретных сигналов.....	29
3. Реализация.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.1. Описание реализованного фильтра сглаживания.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.2. Описание реализованного фильтра Баттерворта.....	Ошибка! Закладка не определена.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	31
4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	32
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	32
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	34
4.1.3. Технология QuaD	36
4.1.4. SWOT-анализ.....	37
4.2. Вывод.....	42
5. Социальная ответственность... Ошибка! Закладка не определена.	
5.1. Описание разрабатываемого продукта на предмет возникновения	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.1. Информация относительно информационной безопасности	Ошибка! Закладка не определена.
5.2. Конфиденциальность.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.3. Правовые и организационные средства безопасности....	Ошибка! Закладка не определена.
5.3.1. Угрозы и способы защиты от них	Ошибка! Закладка не определена.
5.4. Программно-технические средства безопасности.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.4.1. Идентификация и аутентификация	Ошибка! Закладка не определена.
5.4.2. Управление доступом.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.4.3. Экранирование	Ошибка! Закладка не определена.

5.4.4. Протоколирование и аудит	Ошибка! Закладка не определена.
5.5. Вывод.....	Ошибка! Закладка не определена.
Заключение	Ошибка! Закладка не определена.
Список публикаций.....	43
Список используемых источников	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение А	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение Б.....	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение В	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение Г	Ошибка! Закладка не определена.

Введение

Цифровая обработка сигналов нашла широкое применение в различных сферах деятельности: телевидении, радиолокации, связи, метеорологии, сейсмологии, медицине, анализе речи и телефонии, а также при обработке изображений и полей различной природы. В некоторых сферах экономической деятельности, например, таких как банковское дело, обработка цифровых финансовых потоков имеет принципиальное значение[2].

Развитие вычислительной и микропроцессорной техники приводит к созданию все более надежного, быстродействующего, миниатюрного, качественного и недорогого оборудования. Цифровые технологии стали столь массовыми, что их используем в обыденной жизни, особо не замечая: сотовый телефон, проигрыватель компакт-дисков, компьютер и т. д.[2][1].

В ходе данной работы необходимо рассмотреть достоинства и недостатки линейной фильтрации. Ознакомиться с основными алгоритмами цифровой фильтрации звуковых сигналов, создать программу, которая покажет пример работы линейного фильтра.

По текущей теме был защищен доклад на XIII всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Технологии Microsoft в теории и практике программирования», и была написана статья в соответствующий сборник публикаций данной конференции.

1. Дискретные и цифровые сигналы и системы.

1.1. Сигналы и их преобразования при цифровой обработке.

В современном мире цифровая обработка сигналов считается одним из наиболее динамично развиваемых и перспективных направлений современной радиотехники. Высокая точность, технологичность, нечувствительность к дестабилизирующим факторам, функциональная гибкость являются важнейшими свойствами цифровой обработки сигналов. Благодаря этим свойствам влияние цифровой обработки в радиоэлектронных устройствах и системах по мере повышения ее быстродействия и снижения стоимости с каждым годом все больше возрастает.

Приведем некоторые основные понятия:

Цифровая обработка сигналов – это обработка цифровых сигналов различными цифровыми методами и цифровыми средствами.

Под *цифровым сигналом* будем понимать любую пронумерованную последовательность чисел (цифровых кодов), например какой-либо массив 25,4,8,1, ... , в том числе и аналоговые сигналы, которые ранее были оцифрованы, являющиеся функцией некоторого эквидистантного непрерывного аргумента (например, расстояния или по умолчанию – времени, а так же порядковый номер).

Математические соотношения или алгоритмы, в соответствии с которыми выполняются различного вида операции над цифровыми сигналами, называются *методами* цифровой обработки сигналов. К ним можно отнести различные алгоритмы цифровой фильтрации, спектрально-корреляционного анализа, демодуляции сигналов и модуляции сигналов, адаптивной обработки и др. В отличие от других вычислений на ЭВМ, алгоритмы цифровой обработки сигналов предусматривают, чаще всего, выполнение в реальном масштабе времени.

Существуют различные *средства реализации* цифровой обработки сигналов, такие как одноплатные компьютеры и цифровые сигнальные

процессоры (ЦСП), персональные компьютеры, микроконтроллеры, микропроцессоры общего назначения, программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), жесткая логика. Одноплатные компьютеры и цифровые сигнальные процессоры программно и аппаратно оптимизированы на задачи цифровой обработки сигналов, тем самым образуют элементарную специализированную базу. *Процессом* цифровой обработки сигналов называется совокупность аппаратных средств, осуществляющих цифровую обработку сигналов.

Для цифровой обработки сигналов важнейшее значение имеют средства автоматизации проектирования программного и аппаратного обеспечения процессоров на основе ПК, ЦСП, ПЛИС и других различных цифровых средств (системы для разработки).

Так же ЦОС можно представить и в обобщенной форме:

ЦОС = Алгоритм + Программа (микропрограмма, схема) + Процессор.

Каждое представленное слагаемое, соответственно, образуют алгоритмическое, программное (микропрограммное или схемотехническое) и аппаратное обеспечение цифровой обработки сигналов.

В начале 60-х годов XX века цифровая обработка сигналов начала формироваться как научное и техническое направление. Все изучения были направлены на достижения цифровой вычислительной техники и на те, которые были известны задолго до этого времени в математике, например Z – преобразование, преобразования Фурье, Лапласа, линейные разностные уравнения и др. Основополагающими для цифровой обработки сигналов стали работы по теории дискретизации и восстановления сигналов Котельникова-Шеннона-Найквиста в 30-40-е гг. XX века. Безусловно большую и важную роль в развитии ЦОС сыграли исследования по цифровой фильтрации Кайзера и уже позже, предложенные в 1965 году Тьюки и Кули алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ).

К истории развития цифровой обработки звука так же можно отнести и другие важные события. В начале 60-х гг. XX в. Был создан цифровой

полосной вокодер, изобретенный еще в 1939 году Дадли, позже, в 1971 году Стивенсон изобрел многоканальный цифровой приемник, и уже в 1982 году создали цифровой сигнальный процессор. В те же годы были получены и значительные теоретические сигналы по адаптивной обработке сигналов, спектрально-корреляционному анализу, вейвлет-анализу и их приложениям.

Теория цифровой обработки сигналов включает в себя различные направления, такие как спектрально-корреляционный анализ, цифровую фильтрацию, специальные методы и средства, методы и средства аппаратно – программной реализации.

1.1.1. Общая структура системы цифровой обработки аналоговых сигналов

Наиболее общей задачей цифровой обработки сигналов является обработка аналоговых сигналов. Данная задача включает в себя оцифрование аналоговых сигналов, их алгоритмическую обработку и при особой необходимости, возможно преобразование в обратную аналоговую форму из цифрового вида.

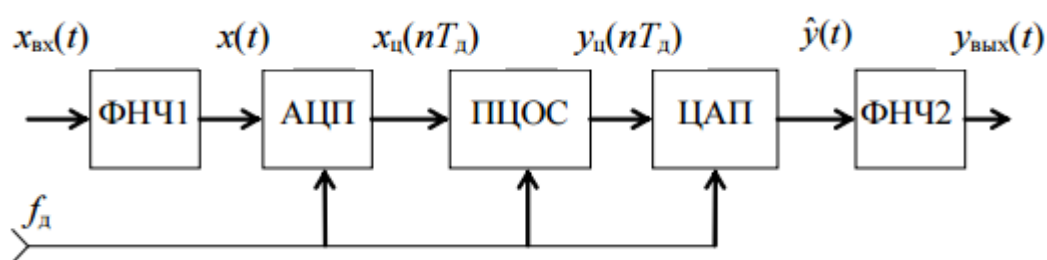


Рис. 1.1. Общая структура системы ЦОС

Рассмотрим подробнее схему общей структуры системы ЦОС, на аналоговый цифровой преобразователь (АЦП) поступает входной аналоговый сигнал $x_{вх}(t)$ через аналоговый фильтр нижних частот ФНЧ1 с частотой среза f_c . Фильтр обеспечивает ограничение полосы входного сигнала частот (включая при этом и помехи и сопутствующие сигналы шумов) максимальной частотой $f_m \approx f_c$, соответствующей используемой в АЦП частоте дискретизации сигнала по времени $f_d > 2f_m$. Он ослабляет наложения

искажения при дискретизации сигналов со спектром ограниченным по частоте и называется *противомаскировочным фильтром*, или *аналоговым преселектором*.

Аналого-цифровое преобразование также включает квантование по уровню и цифровое кодирование, в дискретизацию сигнала по времени, (рис. 1.2.)

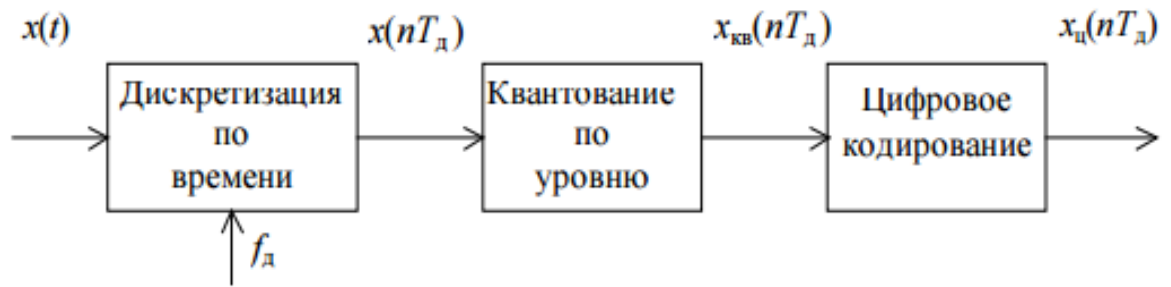


Рис. 1.2. Последовательность операций аналогово-цифрового преобразования сигнала

В итоге последовательностей операций согласуются в *дискретный сигнал* $x(nT_\delta)$, согласующий выборкам аналогового сигнала $x(t)$ в дискретные одинаковые моменты времени nT_δ ($T_\delta = 1/f_\delta$ – период дискретизации сигнала), *дискретный квантованный сигнал* $x_{кв}(nT_\delta)$, отличается конечным множеством значений принимаемых им, и *цифровой сигнал* $x_ц(nT_\delta)$ в виде последовательности цифровых двоичных кодов с числом разрядов, соответствующим разрядности АЦП.

Процессором ЦОС в соответствии с заданным *алгоритмом цифровой обработки* (оператором Φ) входной цифровой сигнал $x_ц(nT_\delta)$ преобразуется в выходной цифровой сигнал системы $y_ц(nT_\delta) = \Phi[x_ц(nT_\delta)]$.

Аналоговый выходной сигнал системы $y_{вых}(t)$ получается (или его можно восстановить) из цифрового сигнала $y_ц(nT_\delta)$ при помощи цифроаналогового преобразователя ЦАП, изменяющего его в *аналоговый сигнал квантованный по уровню* $\hat{y}(t)$ ступенчатой формы, и аналогового ФНЧ2, которым ограничивается частотный спектр и подавляются высокочастотные компоненты выходного сигнала. Такой фильтр называют также *сглаживающим* с частотой среза $f_c < f_\delta/2$.

Все элементы ФНЧ2, ЦАП, АЦП и ФНЧ1 системы обработки сигналов, которые выполняют преобразования сигналов вида Ц/А, А/А и А/Ц, образует *подсистему аналогового ввода-вывода*, или аналого-цифрового интерфейса, системы ЦОС.

С преобразованиями сигналов при цифровой обработке связаны *погрешности и искажения*, анализ и оценка которых основываются на их *математических моделях и описаниях*. [3]

1.1.2. Математические модели дискретных сигналов

Существующие при дискретных, как правило, равноотстоящих значениях своего аргумента, сигналы или функции называют *дискретными*. *Отсчетами (выборками)* называют мгновенные значения дискретного сигнала.

Математически дискретный сигнал можно определить следующими функциями:

- функцией nT_δ (дискретного времени):

$$x(nT_\delta) = x(t)|_{t = nT_\delta}, n = 0, 1, 2, \dots;$$

- функцией n (номер выборки), в общем случае не связанной с временем:

$$x(n) = x(nT_\delta)|_{T_\delta = 1};$$

- функцией t (непрерывного времени):

$$x_{\text{дод}}(t) = x(t) f(t)_\delta = x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT) \delta(t - nT), \quad (1.1)$$

получим при умножении аналогового сигнала $x(t)$ на *дискретизирующую функцию* $f_\delta(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_\delta)$ в виде периодической последовательности δ -импульсов с периодом повторения T_δ , где

$$\delta(t - nT_\delta) = \begin{cases} \infty, & t = nT_\delta \\ 0, & t \neq nT_\delta \end{cases} \quad - \quad \delta\text{-импульс бесконечной амплитуды, нулевой$$

длительности и единичной площади $\int_{t=nT_\delta+T_\delta/2}^{nT_\delta+T_\delta/2} \delta(t - nT_\delta) dt = 1$, задержанный на nT_δ отсчетов и имеющий размерность частоты или с^{-1} .

Графически дискретные сигналы представляются функцией дискретного времени nT_d или номера выборки n (рис. 1.3.).

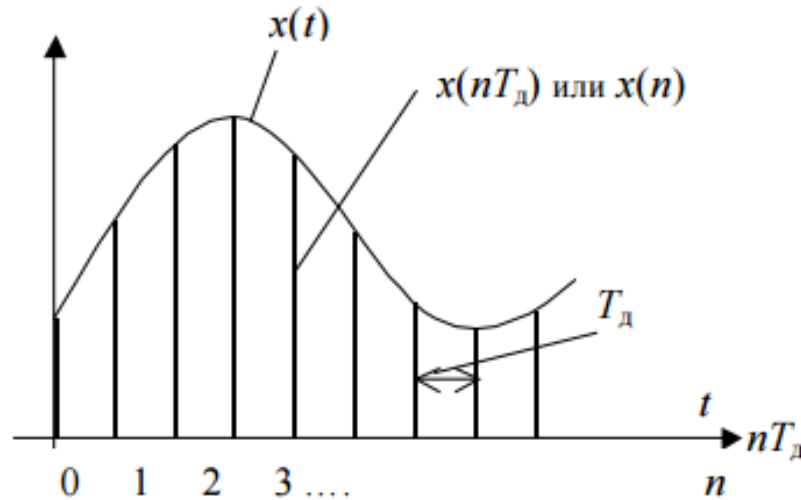


Рисунок 1.3 - Графики непрерывного $x(t)$ и дискретного $x(nT_d)$ ($x(n)$) сигналов

Сигналы, определяемые функцией номера выборки n , называют также числовыми, или дискретными, последовательностями. Показанную функцию на графиках непрерывного времени идентифицируют или с сигналом $x(t)$, соответствующим сигналу $x(nT_d)$, либо с некоторой условной огибающей дискретной последовательности $x(n)$, более наглядно показывающей ее функциональную зависимость.

Сигналы $x_\delta(t)$ и $x(nT_d)$ связаны линейным соотношением

$$x(nT_d) = \int_{(n-0.5)T_d}^{(n+0.5)T_d} x_\delta(t) dt$$

они содержат схожие свойства, но при этом размерности разные. Поэтому все вышенаписанные пояснения дискретного сигнала будут являться *математически адекватными*: $x(nT_d) \cong x(n) \cong x_\delta(t)$. Первые из них ($x(nT_d)$ и $x(n)$) будут использоваться только непосредственно при анализе и описании цифровых и дискретных систем. Определение непрерывного сигнала функцией непрерывного времени (формула 1.1) равноценно балансной модуляции, взвешиванию площади периодически следующих δ -импульсов $f_\delta(t)$ дискретизируемым сигналом $x(t)$ или выборками этого сигнала $x(nT_d)$ (рис. 1.4).

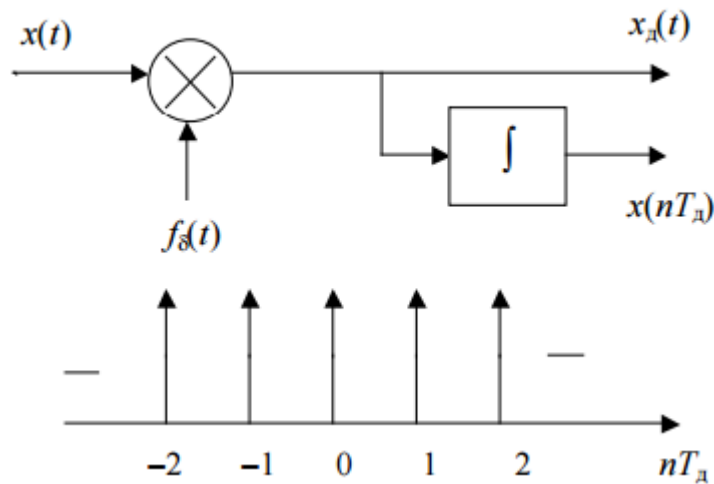


Рис. 1.4. Эквивалентная схема дискретизации сигнала по времени

При помощи изученных методов описания аналоговых систем и сигналов, это понятие дает нам получить математические описания, а также соотнести свойства соответствующих им дискретных систем и сигналов[4].

Дискретные сигналы в математике относятся к классу *временных рядов и решетчатых функций*.

1.1.3. Спектр дискретного сигнала

Спектральная плотность, или спектральная функция, дискретного сигнала, называемая для упрощения *спектр*, можно найти, дискретизировав по времени преобразование Фурье соответствующего ему аналогового сигнала $X_d(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt$. Нужно заменить t на nT_d , dt на T_d и интеграл на сумму, получим

$$X'_d(j\omega) = T_d \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_d) e^{-j\omega nT_d}. \quad (1.2)$$

Это выражение имеет размерность спектральной плотности [сигнал/частота].

Кроме того, спектр можно найти и прямым преобразованием Фурье дискретного сигнала, которое представляется функцией непрерывного времени (1.1):

$$X_d(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x_d(t) e^{-j\omega t} dt = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \delta(t - nT_d) e^{-j\omega t} dt$$

Используя фильтрующее свойство δ -функции $\int s(t)\delta(t - t_0)dt = s(t_0)$, получим

$$X_\delta(j\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_d) e^{-j\omega n T_d}. \quad (1.3)$$

Выражение (1.3) имеет размерность [сигнал], так как является Фурье-преобразованием сигнала $x_\delta(t)$, размерностью [сигнал/время] или [сигнал-частота].

Таким образом, выражения (1.2) и (1.3) отличаются только масштабным (и размерным) множителем T_d . Обычно для спектра дискретного сигнала (его непрерывного преобразования Фурье) используется принимаемое далее определение (1.3). С помощью выражения (1.2) спектральная плотность дискретного сигнала при необходимости приводится к соответствующей ей размерности [В/Гц], как и у аналогового сигнала. Определением спектра (1.2) пользуются также в многоскоростных системах ЦОС с изменяемой в процессе обработки частотой дискретизации. Обозначают спектр дискретного сигнала как с индексом «д» ($X_\delta(j\omega)$) – при совместном описании дискретных и аналоговых сигналов, так и без индекса ($X(j\omega)$), если рассматриваются только дискретные сигналы.

В силу периодичности комплексной экспоненты

$$e^{-j\omega n T_d} = e^{-j(\omega + k\omega_d)n T_d}$$

спектр непрерывного сигнала, в отличие от аналогового, *периодичен* по частоте с периодом ω_d : $X_\delta(j\omega) = X_\delta[j(\omega + k\omega_d)]$, $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ (рисунок 1.5). *Периодизация спектра обусловлена дискретизацией сигнала по времени.* Может быть справедливо и утверждение от обратного, о том, что сигналы периодичны со спектром дискретным по частоте. Оба эти свойства отвечают утвержденному положению о *взаимосвязи дискретизации и периодизации сигналов во временной и частотной областях.* [4]

Определяют спектр дискретного сигнала в *основной полосе частот* ($0 \pm \omega_d/2$), ограниченной по модулю частотой *Найквиста*: $\omega_d/2$.

Дискретный сигнал можно вычислить по его спектру (1.3) в основной полосе частот с помощью обратного преобразования Фурье:

$$x(nT_d) = \frac{T_d}{2\pi} \int_{-\omega_d/2}^{\omega_d/2} X_d(j\omega) e^{-j\omega nT_d} d\omega. \quad (1.4)$$

Выражение (1.4) получается дискретизацией по времени непрерывного обратного преобразования Фурье аналогового сигнала

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X_d(j\omega) e^{-j\omega t} d\omega$$

путем замены t на nT_d и использования вместо спектральной плотности аналогового сигнала $X_d(j\omega)$ соответствующей ей по размерности спектральной плотности дискретного сигнала $T_d X_d(j\omega)$ в полосе частот $\pm\omega_d/2$.

1.1.4. Квантование сигналов по уровню

Бесконечное множество различных значений непрерывного сигнала $x(n)$ в заданном максимально возможном диапазоне его изменения $D_{x\max} = (x_{\max} - x_{\min})$ заменяется конечным числом *уровней квантования* m дискретного квантованного сигнала $x_{\text{кв}}(n)$, когда происходит квантование по уровню. С одним из них в соответствии с определенным правилом или алгоритмом и отождествляется точное мгновенное значение дискретного сигнала $x(n)$ (рисунок 1.5).

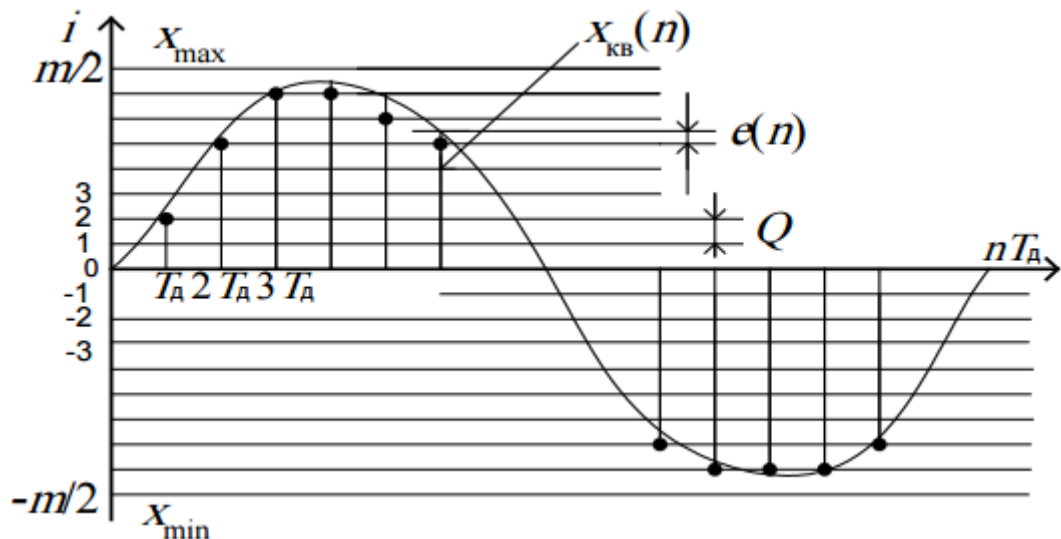


Рисунок 1.5 – Иллюстрация квантования сигнала по уровню

Шагом квантования по уровню $Q = D_{\max}/m$ называется интервал между уровнями квантования.

1.1.4.1. Способы квантования

Квантование возможно *с усечением и с округлением*. Квантованный дискретный сигнал $x_{кв}(n)$ определяется при усечении как

$$x_{кв}(n) = [x(n)/Q]_{цч} Q = iQ, \quad (1.5)$$

при округлении как

$$x_{кв}(n) = [(x(n)/Q) + 0,5]_{цч} Q = iQ, \quad (1.6)$$

где $i = [\cdot]_{цч}$ – это целая часть заключенного в скобки отношения, которая соответствует уровню квантования по номеру, с которым распознается точное значение квантуемого дискретного сигнала: с самым близким меньшим – при усечении и ближайшим – при округлении. Для сигнала однополярного $0 \leq i \leq (m - 1)$, для сигнала двухполярного $(-m/2) \leq i \leq (m/2) - 1$.

1.1.4.2. Погрешность квантования

$e(n) = x_{кв}(n) - x(n)$ определяет погрешность, возникающую при квантовании сигнала по уровню, это так называемая разность между квантованным и точным значениями дискретного сигнала (рис. 1.6, 1.7).

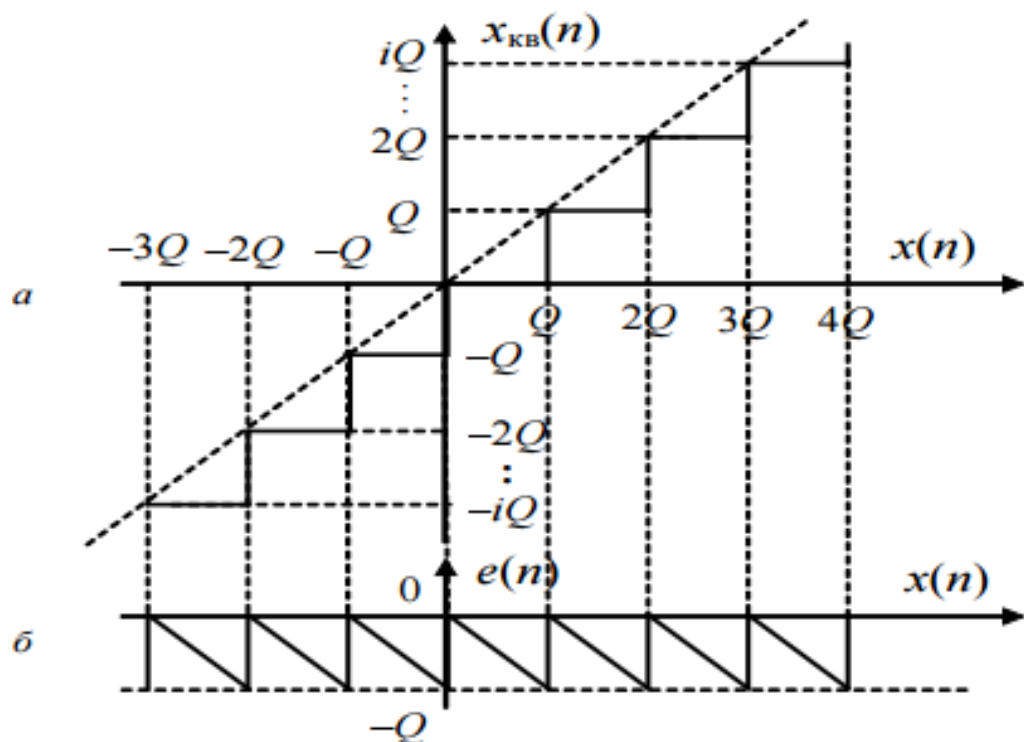


Рисунок 1.6 – Амплитудная характеристика (а) и погрешность квантования с усечением (б)

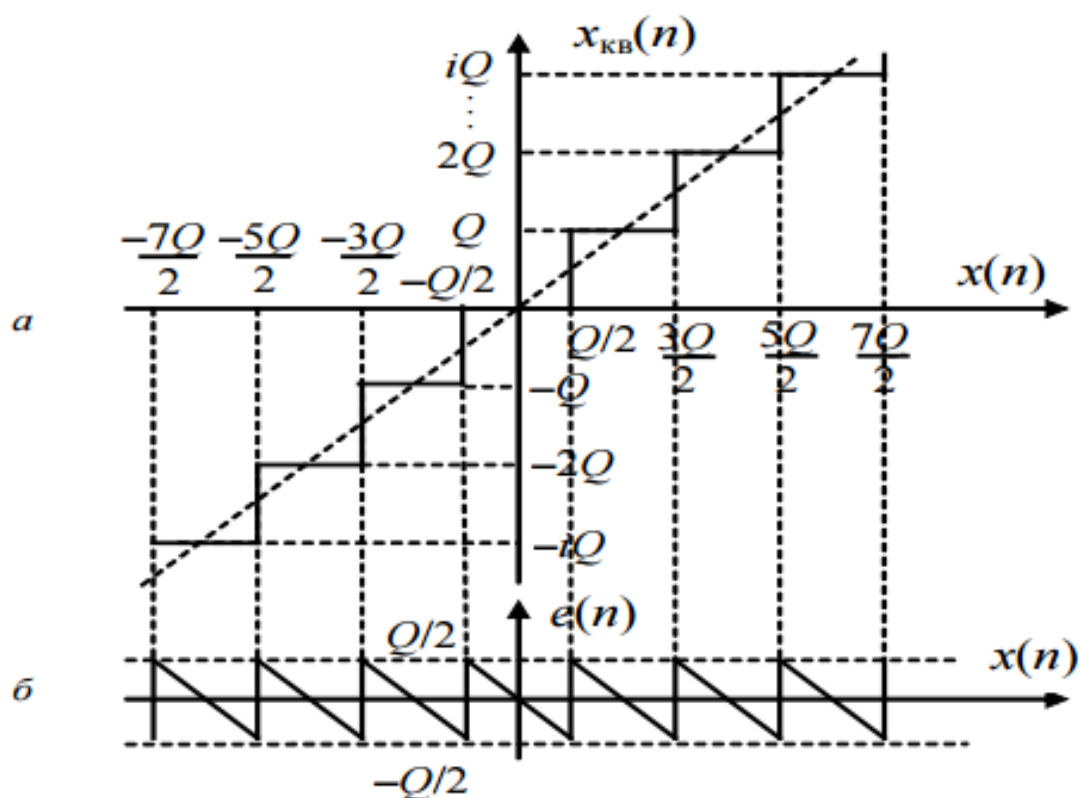


Рисунок 1.7 – Амплитудная характеристика (а) и погрешность квантования с округлением (б)

В соответствии с амплитудной характеристикой квантователя она принимает значения $-Q < e(n) \leq 0$ – при усечении (рисунок 1.6, а, б) и $-Q/2 < e(n) \leq Q/2$ – при округлении (рисунок 1.7, а, б). Максимальные значения погрешности квантования $E_m = |e(n)|_{\max} = \eta Q$, где $\eta = 1$ при усечении и $1/2$ при округлении.

Вследствие заранее заданных неизвестных значениях погрешности квантования и сигнала, ее рассматривают как шум квантования или случайный дискретный процесс, конгруэнтный на квантуемый дискретный сигнал: $x_{kv}(n) = x(n) + e(n)$ и с равной вероятностью принимающий любые значения в вышеуказанных пределах. На графиках (рисунок 1.8, а, б) обоим способам квантования соответствует одинаковая плотность вероятностей $p(e) = 1/Q$, отвечающая условию нормировки.

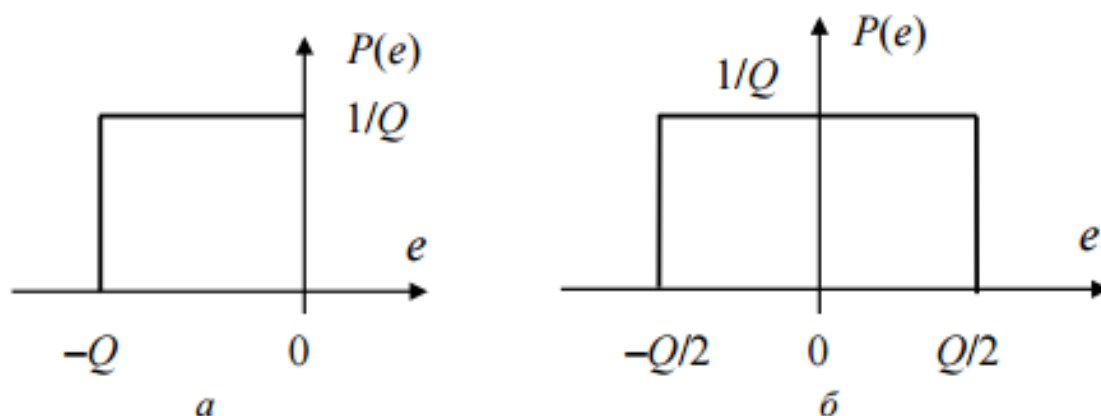


Рисунок 1.8 – Плотности вероятностей шума квантования при усечении (а) и округлении (б)

Параметры шума квантования:

- математическое ожидание $M[e] = \int_{-Q}^0 ep(e)de = -Q/2$ - при усечении, $M[e] = \int_{-Q/2}^{Q/2} ep(e)de = 0$ - при округлении;
- дисперсия $D[e] = \int_{-Q/2}^{Q/2} e^2 p(e)de = Q^2/12$ - для обоих способов квантования;
- среднеквадратическое значение $\sigma_e = Q/\sqrt{12}$.

При цифровой обработке сигналов в коммуникационных системах применяется также неравномерное квантование, учитывающее статистические свойства сигнала и минимизирующее среднеквадратическое значение шума квантования [6, 7].

1.1.5. Цифровое кодирование сигнала

Номер уровня квантования i , если известно значение шага квантования Q однозначно можно определить значение непрерывного квантованного сигнала и является его *цифровым (числовым) эквивалентом*. Он соответствует цифровому сигналу на выходе АЦП $x_{ц}(n)$, представленный в двоичном коде ($i_{(2)}$). Число двоичных разрядов АЦП $q_{ацп}$ связано с числом уровней квантования m соотношением $q_{ацп} = \log_2 m$. Например, для 10-

разрядного АЦП $m = 2^{q_{\text{ацп}}} = 1024$, для АЦП разрядностью 12 бит – $m = 4096$ и т.д.

Получаемый двоичный код двухполярного АЦП представляет собой целое число со знаком в прямом или дополнительном коде. Такое представление соответствует *целочисленному кодированию* цифрового сигнала. Оно осуществляется в соответствии с алгоритмом

$$x_{ц(цк)}(n) = x_{кв}(n)/Q = [x(n)/Q]_{цч} = i_{(2)}. \quad (1.7)$$

Разряды целочисленного кода $x_{ц(цк)}(n)$ (рисунок 1.9, а) имеют веса, убывающие от 2^{q_x} (старший разряд) до 2^0 (младший разряд); $q_x = q_{\text{ацп}} - 1$ – число бит или разряд цифрового сигнала без учета знакового разряда.

Наряду с целочисленным в цифровой обработке сигналов широко используется представление двоичных чисел правильными дробями – так называемое *дробное кодирование* цифрового сигнала. Оно обеспечивает простое ограничение их разрядности в процессе обработки путем отбрасывания (усечения или округления) лишних младших разрядов.

2. Математические описания и характеристики дискретных систем

Дискретная система (математически адекватная цифровой системе с *неограниченной разрядностью и точностью обработки*), как и аналоговая, полностью определяется *математическим оператором*, устанавливающим связь между ее выходным $y(n)$ и входным $x(n)$ сигналами или последовательностями:

$$y(n) = \Phi[x(n)].$$

Оператор системы $\Phi[\cdot]$, реализуемый аппаратными или программными средствами, называют *алгоритмом обработки системы*. По виду оператора дискретные системы классифицируются на линейные и нелинейные, инвариантные и неинвариантные ко времени.

В работе рассматриваются алгоритмы цифровой фильтрации, соответствующие линейным дискретным системам с постоянными

параметрами (или коэффициентами). Они удовлетворяют принципам суперпозиции и инвариантности к временному сдвигу [4,10,13].

2.1. Методы математического описания линейных дискретных систем во временной области и алгоритмы цифровой фильтрации на их основе

Дискретные линейные системы во временной области математически описываются разностными уравнениями и дискретной временной сверткой, которые являются аналогами дифференциальных уравнений и интеграла свертки аналоговых систем [4].

2.1.1. Дискретная временная свертка. Цифровые фильтры БИХ- и КИХ-типа

Дискретная временная свертка (ДВС) определяется выражением

$$y(n) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} h(m)x(n-m) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x(m)h(n-m). \quad (2.1)$$

Входящая в (2.1) дискретная функция $h(m)$ (или $h(n)$) называется *импульсной характеристикой* дискретной системы. Она определяется как отклик дискретной системы на сигнал типа *единичный импульс* $u_0(n) = 1, n = 0$ и $u_0(n) = 0$ при $n > 0$: $h(n) = \Phi[u_0(n)]$ (импульсной характеристикой $h(t)$ аналоговой системы является ее реакция на сигнал типа дельта-импульс).

Нижний предел суммирования в (2.1) ($m = 0$) соответствует условию *физической реализуемости системы*: $h(n) = 0$ при $n < 0$ (отклик не может опережать воздействие).

Возможны два вида импульсных характеристик ЦФ: бесконечной и конечной длительности (рис. 2.1).

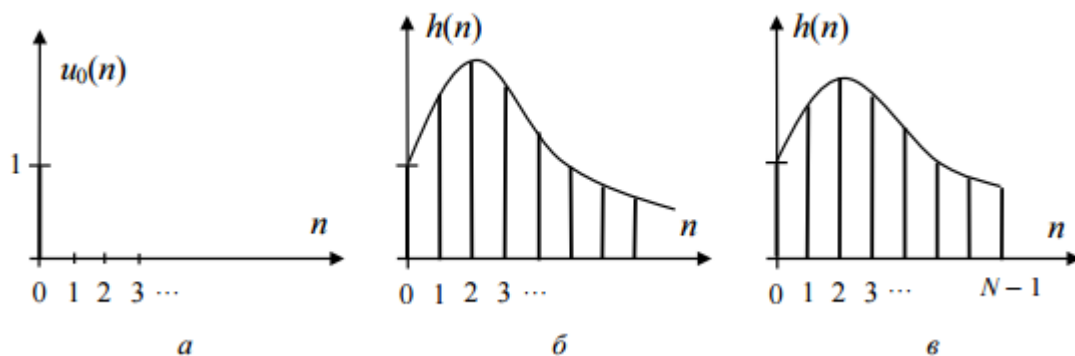


Рисунок 2.1 – Единичный импульс (а) и импульсные характеристики цифровых фильтров БИХ - типа (б) и КИХ - типа (в)

Бесконечную импульсную характеристику имеют рекурсивные фильтры, поэтому их называют также БИХ-фильтрами [12]. По импульсной характеристике можно судить об устойчивости РФ. Устойчивому РФ отвечает затухающая со временем импульсная характеристика, что математически выражается как

$$\sum_{n=0}^{\infty} |h(n)| < \infty.$$

Нерекурсивные цифровые фильтры относятся к классу КИХ- фильтров, т.е. фильтров с конечной импульсной характеристикой. Выражение ДВС (2.1) для НФ имеет конечные пределы суммирования, определяемые длиной импульсной характеристики N :

$$y(n) = \sum_{m=0}^{N-1} x(m)h(n-m) = \sum_{m=0}^{N-1} h(m)x(n-m) \quad (2.2)$$

Это значит, что ДВС можно непосредственно использовать в качестве алгоритма обработки при реализации НФ. Для РФ это невозможно ввиду бесконечной длины их импульсной характеристики и требуемого по этой причине бесконечно большого объема вычислений.

2.2. Методы математического описания сигналов дискретных систем на комплексной плоскости (в частотной области)

Математическое описание дискретных (как и аналоговых) систем на комплексной плоскости (в частотной области) основывается на

соответствующих математических описаниях их сигналов. Аналоговые сигналы на комплексной плоскости (в частотной области) описываются преобразованием Лапласа

$$X_a(p) = \int_0^{\infty} x(t) e^{-pt} dt, \quad (2.3)$$

которое является функцией комплексного оператора (комплексной частоты) $p = \sigma + j\omega$, и преобразованием Фурье, которое соответствует преобразованию Лапласа, вычисленному вдоль мнимой оси $j\omega$ (оси частот):

$$X_a(j\omega) = X_a(p)|_{p=j\omega} = \int_0^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt.$$

Для дискретных сигналов также существует преобразование Лапласа, получаемое из (2.3) путем его дискретизации по времени:

$$X(p) = \sum_{n=0}^{\infty} x(n) e^{-pnT_d} \quad (2.4)$$

2.2.1. Z-преобразование дискретных сигналов

В отличие от аналоговых сигналов и систем преобразование Лапласа не приводит к рациональным функциям (алгебраическим уравнениям) при математическом описании дискретных сигналов и систем на комплексной Р-плоскости. Этому важнейшему условию отвечает Z-преобразование дискретных сигналов, определяемое выражением

$$Z\{x(n)\} = X(z) = \sum_{n=0}^{\infty} x(n) z^{-n} \quad (2.5)$$

Комплексная переменная z в (2.5) связана с переменной p (оператором Лапласа) соотношением

$$z = e^{pT_d} = a + jb = e^{\sigma T_d} e^{j\omega T_d} \quad (2.6)$$

Эта связь иллюстрируется отображениями точек из комплексной Р-плоскости на комплексную Z-плоскость (рис. 2.2).

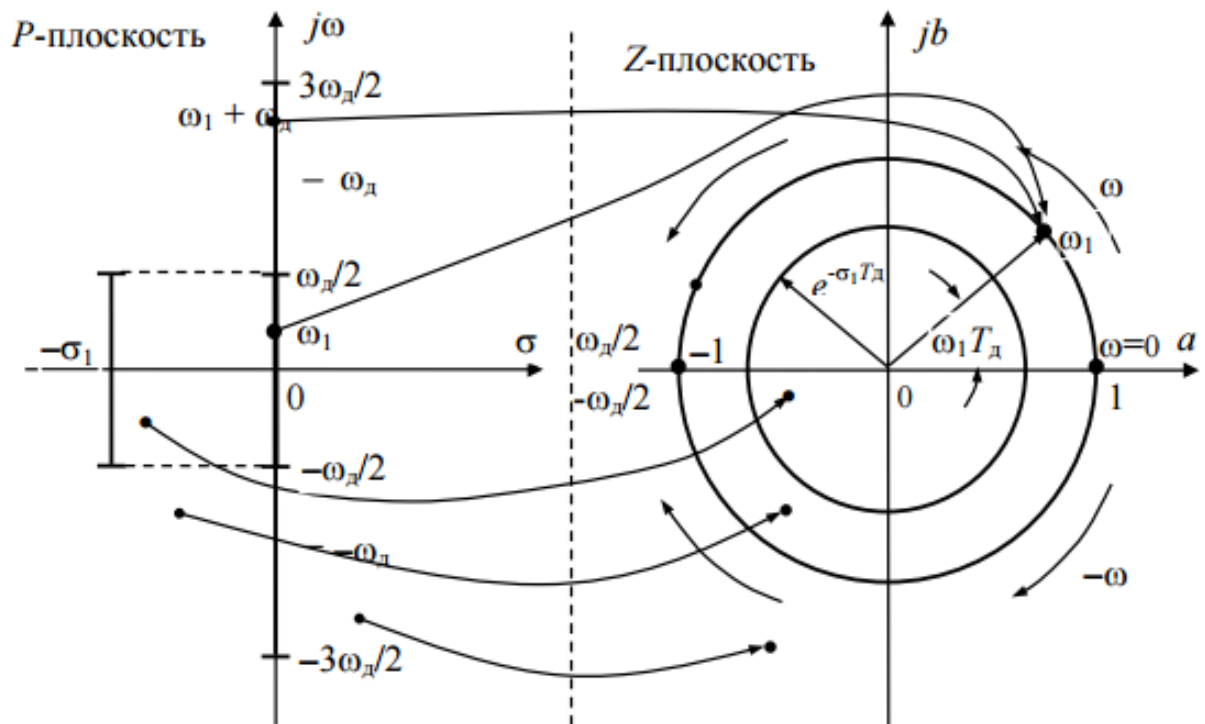


Рисунок 2.2 – Отображения точек с комплексной P - плоскости и на Z -плоскость

Особенность этих отображений заключается в их цикличности по переменной ω , обусловленной периодичностью комплексной экспоненты $e^{j\omega T_d}$ с периодом ω_d :

$$z = e^{\sigma T_d} e^{j\omega T_d} = e^{\sigma T_d} e^{j[\omega + k\omega_d]T_d}, k=0, \pm 1, \pm 2 \text{ и т.д.}$$

Так, точки мнимой оси $j\omega$ P - плоскости ($\omega = 0$) циклически переносятся на окружность единичного радиуса Z -плоскости $e^{j\omega T_d}$, являющуюся осью частот на Z -плоскости; каждой полосе частот шириной ω_d при этом соответствует один обход этой окружности. Однозначное отображение точек имеет место в основной полосе частот $\pm \omega_d/2$. Левая P -полуплоскость ($\omega < 0$) свертывается внутрь круга единичного радиуса Z -плоскости, а правая P - полуплоскость ($\omega > 0$) отображается за его пределы.

Z -преобразование, вычисленное на единичной окружности, приводит к преобразованию Фурье дискретного сигнала (1.2), определяющему его спектр:

$$X(z)|_{z=e^{j\omega T_d}} = X(j\omega) = \sum_{n=0}^{\infty} x(n)e^{-j\omega n T_d} \quad (2.7)$$

Следует отметить, что Z-преобразование, как и преобразование Лапласа, может быть односторонним – для последовательностей $x(n) = 0$ при $n < 0$ и двусторонним, если $x(n) \neq 0$ при $n < 0$; в этом случае пределы суммирования по n берутся от $-\infty$ до $+\infty$ [10,11].

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Объектом исследования являются звуковые сигналы. Рассмотрим различные цифровые обработки сигналов, и подробнее линейную фильтрацию.

Целью данного раздела является определение оценки коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также планирование и формирование бюджета научных исследований,

определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

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

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Целевой аудиторией могут являться: 1) Учебные заведения с музыкальным уклоном 2) звукозаписывающие студии 3) профессиональные пользователи в медиаиндустрии.

Целевым рынком для данной разработки является широкий круг профессиональных пользователей, студий и корпораций индустрии развлечений.

Исходя из вышеизложенного сегментацию рынка можно произвести по:

а) Сегментация целевого рынка для данной разработки по виду потребителей:

- 1) Образовательные учреждения с музыкальным уклоном;
- 2) коммерческие предприятия;
- 3) индивидуальные пользователи, которые профессионально обрабатывают звуковые сигналы.

б) Сегментация целевого рынка по используемой операционной системе:

- 1) потребители, использующие ОС Windows XP, 7, 8, 10;

в) Сегментация потребителей программного продукта по профессии:

- 1) преподаватели образовательных учреждений, которые преподают музыкальные дисциплины;
- 2) звукооператоры музыкальных студий;
- 3) потребители, работающие со звуковыми сигналами, лишь в рамках интересующего их занятия или хобби.

г) Сегментация коммерческих потребителей по масштабу:

- 1) Средние предприятия;
 - 2) Малые предприятия;
 - 3) Отдельные индивидуальные предприниматели.
- д) Сегментация потребителей – образовательных учреждений по

уровню образования:

- 1) вузы;
- 2) средние специальные учебные заведения;
- 3) специальные обучающие курсы.

Из приведенных сегментов наиболее значимые сегмент по виду потребителей и сегмент по используемой пользователем операционной системе.

Карта сегментации рынка на основании наиболее значимых критериев для рынка (вид потребителей и используемая ОС) представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Карта сегментирования рынка по наиболее важным критериям

		Вид потребителей		
		Образовательные учреждения	Коммерческие предприятия	Индивидуальные разработчики
Используемая ОС	Windows XP, 7, 8,10			

Примечание к таблице 4.1:

 - возможные индивидуальные решения (набор своих программ, самостоятельная реализация требуемого функционала и т.д.)

В результате сегментирования рынка можно выделить:

- Основным сегментом рынка выбрана область разработки для платформы Windows XP, 7, 8, 10 для образовательных заведений.
- Ориентировочным сегментом можно выбрать сегмент разработки для Windows XP, 7, 8 для корпоративных коммерческих предприятий.
- Сегментом рынка привлекательным для развития разработок в будущем: является модификация и создание дополнительных фильтров звуковых сигналов, а так же создание эффектов для наложения.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

В качестве конкурентов разработки целесообразно рассмотреть конкурентные технические решения, представляющие собой программные продукты по фильтрации звуковых сигналов, т.к. помимо данной платформы в этой сфере создано достаточно большое количество разработок. Но конкретно подходящего для поставленной задачи продукта на рынке не нашлось, что и послужило созданию данного приложения. В качестве конкурентных продуктов, если рассматривать только фильтрацию звуковых сигналов, были только программы, входящие в состав пакетов программного обеспечения. Установка полного пакета, где большинство функций не вызывает необходимости помимо этого еще и занимает достаточно много памяти на ПК. Конкурентных аналогов выявлено не было.

- Akram Audio Editor 2.2. – самый просто редактор для звука, предназначенный для домашнего использования. Он простой, но при этом сочетает в себе большинство функций, которые являются основополагающими для редактирования. Данный редактор является хорошим подспорьем для тех, кто только новичок в мире обработки звука. Разработчики представляют свой продукт как удобное средство для создания аудиоданных для презентаций, web-страниц и flash-анимации. Akram Audio Editor оснащен инструментами для восстановления звука. Все фильтры и эффекты имеют очень похожий, очень простой интерфейс. (k1 в таблице 2).

- Audacity – мощный звуковой редактор, содержащий также средства для звукового монтажа. Программный продукт бесплатен и распространяется по лицензии GPL. Благодаря использованию движка графического интерфейса wxWidgets, Audacity работает на нескольких платформах – Windows, Linux, Mac OS 9 и Mac OS X. Стоит также отметить, что, несмотря на максимальную независимость от окружения рабочей среды, редактор имеет очень компактный дистрибутив, чуть более двух мегабайт. Вы можете применять разнообразные фильтры и инструменты подавления шума, компрессор, усилитель басов, инвертирование, эхо и многое другое. (k2 в таблице 2).

- Audio Edit Deluxe – довольно простой звуковой редактор, обладающий, между тем, рядом полезных сервисных функций. Интерфейс программы выполнен в классических традициях, без каких-либо стилевых ухищрений. Расположение и конфигурация панелей, набор кнопок – все эти

элементы не поддаются настройке, скрытию. Все эффекты и фильтры сосредоточены в едином меню Command. (к3 в таблице 2).

Экспертная оценка основных технических характеристик данных продуктов представлена в таблице 2.

Таблица 4.2 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки		Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
			Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
п/н	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности										
1	Функциональная мощность (предоставляемые возможности).	0,17	4	2	4	3	0,68	0,34	0,68	0,51
2	Редактирование и сведение нескольких дорожек	0,15	5	3	5	3	0,75	0,45	0,75	0,45
3	Сохранение данных в виде проекта	0,12	1	5	4	2	0,12	0,60	0,48	0,24
4	Запись звука с разрядностью выше 16 бит	0,11	5	0	5	0	0,55	0,00	0,55	0,00
5	Базовые эффекты	0,09	5	5	5	5	0,45	0,45	0,45	0,45
6	Скорость работы	0,08	2	4	5	5	0,16	0,32	0,40	0,40
7	Потребность в ресурсах памяти	0,07	1	3	4	4	0,07	0,21	0,28	0,28
8	Зависимость от платформы	0,06	2	2	2	2	0,12	0,12	0,12	0,12
9	Пакетная обработка файлов	0,05	0	0	0	5	0,00	0,00	0,00	0,25
10	Удобство эксплуатации	0,05	5	4	4	4	0,25	0,20	0,20	0,20
11	Качество предоставляемого интерфейса для разработчика	0,05	4	3	5	3	0,20	0,15	0,25	0,15
	Итого	1					3,4	2,8	4,2	3,1
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности										
1	Конкурентоспособность продукта	0,4	4	2	3	4	1,60	0,80	1,20	1,60
2	Поддержка продукта	0,25	3	2	4	5	0,75	0,50	1,00	1,25
3	Уровень проникновения на рынок	0,2	2	2	3	3	0,40	0,40	0,60	0,60
4	Цена продукта	0,1	5	5	5	1	0,50	0,50	0,50	0,10
5	Финансирование научной разработки	0,05	1	1	3	4	0,05	0,05	0,15	0,20

	Итого	1				3,30	2,25	3,45	3,75
--	-------	---	--	--	--	------	------	------	------

Исходя из проведенного анализа можно заключить, что сильным конкурентом можно считать Audio Edit Deluxe, функциональность которой частично повторяет идею реализации предлагаемого приложения, но у этой программы большая потребность в ресурсах и высокая цена продукта.

Преимуществом собственного приложения можно считать то, что данный продукт на рынке является уникальным. Аналогов создаваемому приложению по линейной фильтрации звуковых сигналов не существует. Исходя из этого, конкурентами считаются похожие решения. Также сильной стороной является то, что данное приложение просто в использовании, достаточно всего лишь указать путь для сигнала (загрузить) и приложение сделает всю оставшуюся работу самостоятельно.

4.1.3. Технология QuaD

Технология QuaD представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество разработки и ее перспективность, а также помогает принять решение о целесообразности вложения денежных средств в инженерный проект. Для упрощения вычисления показателей оценки качества и перспективности необходимо представить их в табличной форме (таблица 3).

Таблица 4.3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,0614	100	100	1	0,0614
2. Помехоустойчивость	0,0368	60	100	0,6	0,02208
3. Надежность	0,0491	80	100	0,8	0,03928
4. Унифицированность	0,0307	50	100	0,5	0,01535

5. Уровень материалоемкости разработки	0,0614	100	100	1	0,06140
6. Уровень шума	0,0614	100	100	1	0,06140
7. Безопасность	0,0614	100	100	1	0,06140
8. Требуется ресурсов памяти	0,0614	100	100	1	0,06140
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,043	70	100	0,7	0,03010
10. Простота эксплуатации	0,0614	100	100	1	0,06140
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,0552	90	100	0,9	0,04968
12. Ремонтопригодность	0,0614	100	100	1	0,06140
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
1. Конкурентоспособность продукта	0,0583	95	100	0,95	0,055385
2. Уровень проникновения на рынок	0,0307	50	100	0,5	0,01535
3. Перспективность рынка	0,0552	90	100	0,9	0,04968
4. Цена	0,0394	65	100	0,65	0,02561
5. Послепродажное обслуживание	0,0368	60	100	0,6	0,02208
6. Финансовая эффективность научной разработки	0,0614	100	100	1	0,0614
7. Скорость выхода на рынок	0,0368	60	100	0,6	0,02208
8. Наличие сертификации разработки	0,0368	60	100	0,6	0,02208
Итого	1	81,5	100		85,996%

В данном разделе ВКР был произведен анализ перспективности и успешности научно-исследовательского проекта. В результате оценки качества и перспективности, был получен показатель средневзвешенного значения (Π_{cp}), который составил 85,9%, что говорит о том, что разработка считается перспективной.

4.1.4. SWOT-анализ

На основе анализа рынка и конкурентных технических решений необходимо составить матрицу SWOT-анализа, в которой показаны сильные

и слабые стороны проекта, возможности и угрозы для разработки. Матрица SWOT представлена в таблице 4.

Таблица 4.4 – SWOT-анализ

	Сильные стороны: С1. Загрузка своих сигналов. С2. Удобство эксплуатации. С3. Постоянная поддержка, модификация и улучшение. С4. Сохранение в формате wav С5. Уникальность разработки, аналогов не наблюдается.	Слабые стороны: Сл1. Узкая направленность программы. Сл2. Скорость работы по фильтрации, алгоритм требует улучшений. Сл3. Сложность поддержки продукта, необходимость команды. Сл4. Низкий уровень проникновения на рынок и популярность. Сл5. Отсутствие финансирования научных разработок.
Возможности: В1. Загрузка сигналов. В2. Линейная фильтрация сигналов. В3. Сохранение полученного сигнала. В4. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В5. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ для быстрого внедрения ПО на рынок.	Направления развития: 1. В1С1С3С5 – увеличение форматов сигналов для загрузки за счет поддержки разработчиками, модификация способа распознавания. 2. В2В3С5С2С4 – расширенный функционал для удобства пользователей, аналогов не наблюдается. 3. В4С1С2С5 – сочетая большой функционал и удобство использования программой, продукт не имеет аналогов. 4. В5С3С5 – привлечь	Сдерживающие факторы: 1. В1Сл1Сл2Сл4 – необходимо время и команда для разработки совершенного алгоритма распознавания. 2. В2Сл3 – из-за отсутствия необходимости в поставленной задаче данный функционал по генерации был опущен. 3. В4Сл5Сл6 – продукт новый и о нем нечего не известно, что бы вывести его на рынок требует финансирования и продвижения.

	финансирование ТПУ за счет уникальности разработки.	4. В5Сл5Сл6 – низкий уровень проникновения на рынок и отсутствие финансирования научных разработок может помешать развитию финансирования со стороны ТПУ.
Угрозы: У1. Развитие и появление аналогичных приложений. У2. Появление других более удобных методов для фильтрации сигналов. У3. Прекращение поддержки руководителей проекта. У4. Непопулярность продукта на рынке. У5. Несовместимость и плохая оптимизация под различные устройства пользователей.	Угрозы развития: 1. У1С2С3С5 – развитие сторонних аналогов могут свести на нет преимущества цены, доступности и опыт участников проекта. 2. У2С1С4С5 – введение других методов для фильтрации, что не сделает приложение нужным для работы со звуком. 3. У4С2С3 – непопулярность продукта на рынке обнуляет преимущества цены и удобства использования. 4. У5С1С5 – особые преимущества присущие проекту полностью исключает работу на различных устройствах пользователей.	Уязвимости: 1. У1Сл1Сл2Сл3 – улучшенный функционал у вновь появляющихся приложений. 2. У3Сл4Сл5 – слабое проникновение на рынок и отсутствие финансирования могут привести к прекращению поддержки руководителей разработки. 3. У4Сл1Сл2Сл3Сл5 – сниженное качество функций и первое появление на рынке могут способствовать провалу проекта.

На втором этапе проведения SWOT-анализа проводится составление интерактивных матриц проекта, в которых производится анализ соответствия параметров SWOT каждого с каждым. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.5-4.8.

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица для сильных сторон и возможностей

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	+	-	-

	B2	-	+	-	-	-
	B3	-	+	-	+	+
	B4	-	0	0	-	+
	B5	-	0	+	-	+

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица для слабых сторон и возможностей

Слабые стороны проекта						
Возможност и проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	-	-	+	-
	B2	+	-	-	0	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	0	-
	B5	0	-	-	-	+

Таблица 4.7 – Интерактивная матрица для сильных сторон и угроз

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

Таблица 4.8 – Интерактивная матрица для слабых сторон и угроз

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	Y1	+	+	+	-	-
	Y2	-	-	-	-	-
	Y3	-	-	-	+	0
	Y4	+	+	+	-	+
	Y5	0	0	0	+	-

SWOT-анализ помогает лучше понять возможные стратегические решения и обосновать их. Было выявлено, что использование инновационной структуры ТПУ позволит повысить конкурентоспособность ПО и ускорить выход на рынок. Возможно появление дополнительного спроса на новый продукт благодаря функциональной мощности и удобству эксплуатации. Появление дополнительного спроса на новый продукт может привести к отсутствию у потенциальных потребителей квалифицированных кадров. Развитая конкуренция производителей ПО может привести к снижению

конкурентоспособности продукта. Так как приложение работает с одним алгоритмом фильтрации, переход пользователя на другой алгоритм фильтрации может привести к снижению конкурентоспособности продукта. (Остальные расчеты ресурсоэффективности представлены в приложении А)

4.2. Вывод

В результате работы была проведена оценка потенциальных потребителей результатов исследования. В качестве таких потребителей могут выступить учебные заведения с музыкальным уклоном, проводящие занятия связанный с записью звука, сигналов и их фильтрацией. Также был проведен анализ конкурентных решений и формирование бюджета затрат, формирования сроков исполнения. Была проведена оценка сравнительной эффективности исследования и выбран наилучший вариант исполнения.

Список публикаций

1. Колотовкина А.Ю. Программная реализация алгоритмов цифровой фильтрации звуковых сигналов / А.Ю. Колотовкина, науч. рук. А.Ю. Дёмин // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: сборник трудов XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г.Томск, 22-23 марта 2016 г. / В печати.

2. Колотовкина А.Ю. Разработка и анализ алгоритмов цифровой фильтрации звуковых сигналов / А.Ю. Колотовкина, А.Ю. Дёмин; науч. рук. А.Ю. Дёмин // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник трудов III Международной научной конференции, г. Томск, 23-26 мая 2016 г. / В печати.