

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Программно-аппаратный комплекс по цифровой обработке сигналов	
УДК 004.415:621.372.037	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1A22	Киселева Виктория Андреевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	С. Н. Торгаев	Кандидат физико – математических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой	Н.О. Чистякова	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф. А. Губарев	Кандидат физико – математических наук		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной высокоэффективной электронной техники
Р2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
Р3	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
Р4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной электронной техники различного назначения с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
Р5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения

	требуемых результатов
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере электронного приборостроения, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
Универсальные компетенции	
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 делегированием 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

Форма задания на выполнение выпускной квалификационной работы

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврская работа

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

Студенту:

Группа	ФИО
1А22	Киселевой Виктории Андреевне

Тема работы:

Программно-аппаратный комплекс по изучению цифровых фильтров	
Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)	№ 2784/с от 11.04.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Разработать программно-аппаратный комплекс по цифровой обработке сигналов в рамках дисциплины "Аппаратные и программные средства обработки аналоговых сигналов". Исходные данные: • Источник питания: $\pm 12\text{В}$, 0.5А • Источник питания: 5В, 1А • Микроконтроллер STM32F407VG
---------------------------------	---

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>	Разработать программу по расчету цифровых фильтров: • Расчет заградительных и полосовых фильтров Баттерворта и Чебышева. • Порядок фильтров – от 1 до 3. • Построение АЧХ, рассчитанных фильтров • Обеспечить возможность отправки коэффициентов фильтра по UART. Разработать алгоритм и программу на микроконтроллере STM32F407VG, реализующую цифровую фильтрацию: • Обеспечить автоматическую перестройку фильтра при приеме коэффициентов по UART. • Провести экспериментальные исследования по фильтрации тестовых сигналов. Разработать программу по обработке биомедицинских сигналов: • Построение графика сигнала с заданием начальной и конечной точек. • Обеспечить индикацию сигнала о патологии. • Обеспечить возможность отправки коэффициентов фильтра по UART. Разработать алгоритм и программу на микроконтроллере STM32F407VG, реализующую цифровую фильтрацию: • Обеспечить автоматическую отправки оцифрованных данных в микроконтроллер по UART. • Провести экспериментальные исследования по обработке сигнала ЭКГ.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	• внешний вид программы по расчету цифровых фильтров • внешний вид программы по обработке биомедицинских сигналов • экспериментальные результаты обработки сигнала ЭКГ • экспериментальные осциллограммы
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Н.О. Чистякова, кандидат экономических наук
Социальная ответственность	И.Л. Мезенцева, ассистент

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1A22	Киселева Виктория Андреевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 143 с., 40 рис., 22 табл., 14 источников, 4 прил.

Ключевые слова: цифровой фильтр, система цифровой обработки сигналов, амплитудно-частотная характеристика, частота среза, частота дискретизация, порядок фильтра, Delphi, ЭКГ, патология, брадикардия, тахикардия, ЧСС, аритмия.

Объектами исследования являются системы цифровой обработки аналоговых сигналов, в частности, цифровые фильтры и методы их программно-аппаратной реализации с использованием современных микроконтроллеров, системы обработки биомедицинских сигналов, в частности обработки сигналов ЭКГ с использованием современных контроллеров.

Цель работы – разработка программно-аппаратного комплекса по цифровой обработке сигналов в рамках дисциплины “Аппаратные и программные средства обработки аналоговых сигналов”

В процессе исследования проводилась разработка лабораторного комплекса по проектированию цифровых фильтров различного типа с использованием как программных, так и аппаратных приложений, разработка программного обеспечения для обработки биомедицинских сигналов.

В результате исследования была разработана программа по расчету цифровых фильтров с возможностью отправки результатов расчета в микроконтроллер (виртуальный СОМ-порт), также была разработана программа для обработки сигналов ЭКГ с возможностью отправки оцифрованных таблиц данных в микроконтроллер. Были разработаны алгоритм и программа для микроконтроллера STM32F407VG, реализующие цифровые фильтры с возможностью автоматической перестройкой параметров фильтров, реализующие обработку сигнала ЭКГ. Экспериментально была подтверждена работоспособность разработанного комплекса.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:

- Программа расчета фильтров нижних и верхних частот, заградительного и полосового фильтров Баттерворта и Чебышева, с возможностью построения АЧХ.

- Программа для обработки сигнала ЭКГ, с выявлением различных патологий по значению ЧСС (норма ЧСС, брадикардия, тахикардия, аритмия, нормальный ритм).
- Реализована возможность отправки коэффициентов фильтра по UART.
- Реализована возможность отправки оцифрованной таблицы данных сигнала ЭКГ по UART.
- Система обеспечивает автоматическую перестройку фильтра при приеме коэффициентов по UART.
- Система обеспечивает автоматическую перестройку данных из выбранной таблицы при приеме данных по UART.

Степень внедрения: Разработанный программно-аппаратный комплекс будет внедрен в курс лабораторных работ по дисциплине “Аппаратные и программные средства обработки аналоговых сигналов”

Область применения: данный комплекс может применяться в учебном процессе. Разработанное программное обеспечение может использоваться при проектировании цифровых фильтров.

В будущем планируется: внедрить в курс лабораторных работ по дисциплине “Аппаратные и программные средства обработки аналоговых сигналов” программно – аппаратный комплекс по цифровой обработке сигналов.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
2. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение»
3. ГОСТ 12.1.003-99 «Шум. Общие требования безопасности»
4. ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление»
5. ГОСТ 17.2.1.01-76 «Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу»
6. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность»

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Цифровой фильтр-это устройство, преобразующее из одной дискретной последовательности другую, пропуская или подавляя при этом спектры определенных частот.

Каузальные фильтры - фильтры, у которых выходное значение в данный момент времени не зависит от последующих входных значений.

Некаузальные фильтры – это фильтры, выходная реакция которых зависит от последующих входных значений.

«Обозначения и сокращения»:

ЦФ – цифровой фильтр, ФНЧ – фильтр нижних частот; ФВЧ – фильтр верхних частот; ПФ – полосовой фильтр; ЗФ – заградительный фильтр; ЭКГ – электрокардиограмма; ЧСС – частота сердечных сокращений.

Оглавление

Введение

Глава 1. Цифровые фильтры и их реализация.

1.1. Цифровые фильтры: характеристики, применение, типы фильтров.

1.2. Расчет цифровых фильтров нижних и верхних частот.

1.2.1. Расчет ФНЧ Баттерворта 1-5го порядков

1.2.2. Расчет ФНЧ Чебышева 1-5го порядков (для $\varepsilon=0.509$ (1 Дб))

1.2.3. Расчет ФВЧ Баттерворта 1-5го порядков

1.2.4. Расчет ФВЧ Чебышева 1-5го порядков (для $\varepsilon=0.509$ (1 Дб))

1.3. Расчет цифровых фильтров полосовых и режекторных.

1.3.1. Расчет ПФ Баттерворта 1-3го порядков

1.3.2. Расчет ПФ Чебышева 1-3го порядков (для $\varepsilon=0.509$ (1 Дб))

1.3.3. Расчет ЗФ Баттерворта 1-3го порядков

1.3.4. Расчет ЗФ Чебышева 1-3го порядков (для $\varepsilon=0.509$ (1 Дб))

1.4. Микроконтроллеры для обработки сигналов

Глава 2. Реализация цифровых фильтров

2.1. Реализация цифровых фильтров в MathCAD

2.1.1 Реализация заградительного фильтра Чебышева 1-го порядка

2.1.2. Реализация заградительного фильтра Чебышева 3-го порядка

2.1.3. Реализация заградительного фильтра Баттерворта 1-го порядка

2.1.4. Реализация заградительного фильтра Баттерворта 3-го порядка

2.2. Разработка программного обеспечения по расчету ЦФ

2.3. Разработка программы для МК

Глава 3. Практическое исследование программно-аппаратного комплекса

3.1. Практическое исследование ФНЧ

3.2. Практическое исследование ФВЧ

3.3. Практическое исследование ПФ

3.4. Практическое исследование ЗФ

Глава 4. Обработка биомедицинских сигналов

4.1. Разработка программного обеспечения по обработке биомедицинских сигналов

4.2. Разработка программы для МК

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

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

5.1.3 SWOT-анализ

5.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

5.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

5.3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

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

5.3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

5.3.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

5.3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

5.3.4.6 Накладные расходы

5.3.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Глава 6. Социальная ответственность

6.1 Производственная безопасность

6.1.1 Отклонение показателей микроклимата

6.1.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

6.1.3 повышенный уровень шума на рабочем месте

6.1.4 Протекание электрического тока

6.2 Экологическая безопасность

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения

безопасности

Заключение

Список публикаций студента

Список использованных источников

Приложение 1. Код программы микроконтроллера STM32F407VG для цифровой фильтрации

Приложение 2. Код программы микроконтроллера STM32F407VG для обработки биомедицинских сигналов

Приложение 3. Таблица коэффициентов для расчета фильтров

Приложение 4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

Введение

В настоящее время цифровая обработка сигналов имеет широкое применение практически во многих отраслях науки и техники. Системы цифровой обработки сигналов являются неотъемлемой частью таких областей как: телекоммуникация, системы обработки изображений, звукозапись, мобильная связь, различная медицинская аппаратура и т.д. В связи с этим понимание принципов расчета, проектирования и построения систем цифровой обработки сигналов инженерами-электронщиками является необходимым.

В данной работе производилась разработка программно – аппаратного комплекса по изучению цифровой обработки сигналов. Основная цель данной работы - это изучение принципов построения систем цифровой обработки различных сигналов. Полученные результаты работы войдут в основы лабораторных работ по курсам “Аппаратные и программные средства обработки аналоговых сигналов” и “Digital Signal Processing”. В ходе выполнения лабораторных работ студентам необходимо будет разработать систему цифровой фильтрации тестовых сигналов с возможностью автоматической перестройки параметров фильтра на микроконтроллере STM32F407VG, а также разработать алгоритм по обработке биомедицинских сигналов, на примере сигнала ЭКГ.

Данный лабораторный комплекс содержит в себе:

1. Программу расчета цифровых фильтров различного типа и порядка с возможностью отправки результатов расчета в микроконтроллер по интерфейсу UART.
2. Программу по обработке биомедицинских сигналов с возможностью отправки исходных данных в микроконтроллер по интерфейсу UART.
3. Плата расширения, содержащая генераторы различных сигналов: синусоидальный сигнал с наложенными высокочастотными гармоническими помехами; синусоидальный сигнал с переменной частотой, необходимый для

проверки реальной амплитудно-частотной характеристики; треугольный сигнал с переменной частотой, треугольный сигнал с переменной частотой с наложенными высокочастотными гармоническими помехами.

В работе отображены экспериментальные результаты по реализации различных цифровых фильтров с использованием данного микроконтроллера, экспериментальные результаты проверки точности расчета фильтров, результаты обработки биомедицинских сигналов, а также экспериментальные результаты по реализации разработанного программного обеспечения.

Глава 1. Цифровые фильтры и их реализация

1.1. Цифровые фильтры: характеристики, применение, типы фильтров

Цифровой фильтр-это устройство, преобразующее из одной дискретной последовательности другую, пропуская или подавляя при этом спектры определенных частот. Структурная схема цифрового фильтра [1] представлена на рисунке 1.1.

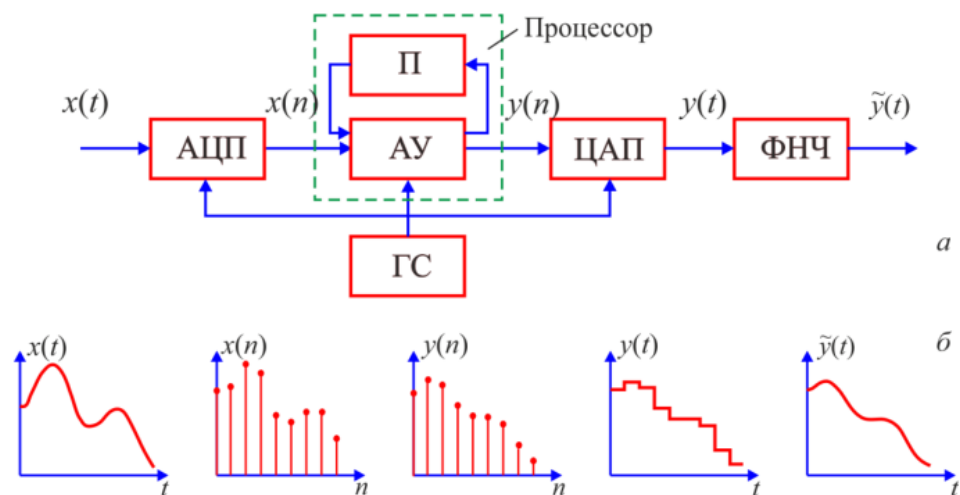


Рисунок 1.1. Структурная схема цифрового фильтра и временные диаграммы процессов [1]: АЦП-аналого-цифровой преобразователь, ЦАП-цифро-аналоговый преобразователь, АУ-арифметическое устройство процессора, П-память процессора, СФ-сглаживающий фильтр нижних частот, ГС-генератор синхронизации.

Существует несколько типов цифровых фильтров [1].

В зависимости от физической реализации:

- каузальные фильтры - фильтры, у которых выходное значение в данный момент времени не зависит от последующих входных значений.
- некаузальные фильтры – это фильтры, выходная реакция которых зависит от последующих входных значений.

В зависимости от взаимного расположения полосы пропускания и полосы подавления различают фильтры [2]:

- фильтры нижних частот (ФНЧ);
- фильтры верхних частот (ФВЧ);

- полосовые фильтры (ПФ);
- режекторные (заграждающие) фильтры (ЗФ).

По способу аппроксимации различают:

- фильтры Баттерворта, имеющие максимально плоскую АЧХ в полосе пропускания и монотонную характеристику в полосе задержания;
- фильтры Чебышева 1-го рода, имеющие заданную величину пульсации АЧХ в полосе пропускания и монотонную характеристику в полосе задержания;
- фильтры Чебышева 2-го рода, имеющие максимально плоскую АЧХ в полосе пропускания и фиксированный уровень пульсаций в полосе задерживания;
- эллиптические фильтры, имеющие равноволновые пульсации АЧХ как в полосе пропускания, так и в полосе задержания.

Цифровая фильтрация, по сравнению с аналоговой, обладает рядом достоинств [2]. Например:

- 1) отсутствие зависимости погрешности преобразования от условий внешней среды;
- 2) возможность разработки ЦФ любой сложности, любой точности;
- 3) простота перестройки;
- 4) простота реализации и удобство использования.

Недостатками цифровой обработки (цифровой фильтрации) являются:

- 1) трудность работы на высоких частотах, связанная с максимальной частотой дискретизации современных АЦП и ЦАП;
- 2) для получения высокой точности и скорости требуется не только мощный процессор, но и быстрые ЦАП и АЦП;
- 3) трудность обработки сигналов в реальном масштабе.

Но обладание таких недостатков не является препятствием широкого применения цифровых фильтров.

Цифровая обработка сигналов, а именно цифровая фильтрация, в настоящее время находит все большее применение в различных областях науки и техники, а именно [2]:

- спектральный анализ света;
- обработка видео и изображений;
- обработка медицинских сигналов;
- обработка звуковых сигналов.

1.2. Расчет цифровых фильтров нижних и верхних частот

В данном разделе производится расчет цифровых фильтров нижних и верхних частот Баттерворта и Чебышева 1-5 порядков [3].

Исходными параметрами для расчета являются:

$T = \frac{1}{f_D}$ - период дискретизации;

n – порядок фильтра;

w_{c0} - требуемая частота среза цифрового фильтра;

$H_a(s)$ – передаточная функция аналогового прототипа;

$H_n(z)$ – передаточная функция цифрового фильтра n -ого порядка.

$$H_n(z) = H_a\left(\frac{2}{T} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}\right) \quad (1.1)$$

Для расчета фильтра частота w_{c0} пересчитана на частоту среза соответствующего аналогового прототипа

$$w_c = \frac{2}{T} \cdot \tan \frac{w_{c0} \cdot T}{2} \quad (1.2)$$

Введенный параметр для упрощения расчета: $p = w_c T$.

1.2.1. Расчет ФНЧ Баттерворта 1-5го порядков

1. Фильтр первого порядка ($n=1$)

$$H_1(z) = \frac{(z^{-1} + 1)w_c T}{a_1 z^{-1} + a_0}, \quad (1.3)$$

где

$$a_1 = w_c T - 2,$$

$$a_0 = w_c T + 2.$$

2. Фильтр второго порядка (n=2)

$$H_2(z) = \frac{w_c^2 T^2 (1 + z^{-1})^2}{a_2 z^{-2} + a_1 z^{-1} + a_0}, \quad (1.4)$$

где

$$a_2 = 4 - 2\sqrt{2}w_c T + w_c^2 T^2,$$

$$a_1 = -8 + 2w_c^2 T^2,$$

$$a_0 = 4 + 2\sqrt{2}w_c T + w_c^2 T^2.$$

3. Фильтр третьего порядка (n=3)

$$H_3(z) = \frac{w_c^3 T^3 (1 + z^{-1})^3}{a_3 z^{-3} + a_2 z^{-2} + a_1 z^{-1} + a_0}, \quad (1.5)$$

где

$$a_3 = -8 + 8w_c T - 4w_c^2 T^2 + w_c^3 T^3,$$

$$a_2 = 24 - 8w_c T - 4w_c^2 T^2 + 3w_c^3 T^3,$$

$$a_1 = -24 - 8w_c T + 4w_c^2 T^2 + 3w_c^3 T^3,$$

$$a_0 = 8 + 8w_c T + 4w_c^2 T^2 + w_c^3 T^3.$$

4. Фильтр четвертого порядка (n=4)

$$H_4(z) = \frac{w_c^4 T^4 (1 + z^{-1})^4}{a_4 z^{-4} + a_3 z^{-3} + a_2 z^{-2} + a_1 z^{-1} + a_0}, \quad (1.6)$$

где

$$a_4 = 16 - 20,904w_c T + 13,656w_c^2 T^2 - 5,226w_c^3 T^3 + w_c^4 T^4,$$

$$a_3 = -64 + 41,808w_c T - 10,452w_c^2 T^2 + 4w_c^4 T^4,$$

$$a_2 = 96 - 27,312w_c^2T^2 + 6w_c^4T^4,$$

$$a_1 = -64 - 41,808w_cT + 10,452w_c^3T^3 + 4w_c^4T^4,$$

$$a_0 = 16 + 20,904w_cT + 13,656w_c^2T^2 + 5,226w_c^3T^3 + w_c^4T^4.$$

5. Фильтр пятого порядка (n=5)

$$H_5(z) = \frac{w_c^5 T^5 (1 + z^{-1})^5}{a_5 z^{-5} + a_4 z^{-4} + a_3 z^{-3} + a_2 z^{-2} + a_1 z^{-1} + a_0}, \quad (1.7)$$

где

$$a_5 = -32 + 51,776w_cT - 41,888w_c^2T^2 + 20,944w_c^3T^3 - 6,472w_c^4T^4 + w_c^5T^5,$$

$$a_4 = 160 - 155,328w_cT + 41,888w_c^2T^2 + 20,944w_c^3T^3 - 19,416w_c^4T^4 + 5w_c^5T^5,$$

$$a_3 = -320 + 103,552w_cT + 83,776w_c^2T^2 - 41,888w_c^3T^3 - 12,944w_c^4T^4 + 10w_c^5T^5,$$

$$a_2 = 320 + 103,552w_cT - 83,776w_c^2T^2 - 41,888w_c^3T^3 + 12,944w_c^4T^4 + 10w_c^5T^5,$$

$$a_1 = -160 - 155,328w_cT - 41,888w_c^2T^2 + 20,944w_c^3T^3 + 19,416w_c^4T^4 + 5w_c^5T^5,$$

$$a_0 = 32 + 51,776w_cT + 41,888w_c^2T^2 + 20,944w_c^3T^3 + 6,472w_c^4T^4 + w_c^5T^5.$$

1.2.2. Расчет ФНЧ Чебышева 1-5го порядков с неравномерностью передачи $\varepsilon=0.509$ (1 Дб)

1. Фильтр первого порядка (n=1)

$$H_1(z) = \frac{h_0 p(z^{-1} + 1)}{a_1 z^{-1} + a_0}, \quad (1.8)$$

где

$$a_1 = h_1 p - 2,$$

$$a_0 = h_1 p + 2,$$

$$h_0 = 1,965, \quad h_1 = 1,965 \quad [3].$$

2. Фильтр второго порядка (n=2)

$$H_2(z) = \frac{h_0 p^2 (z^{-1} + 1)^2}{a_2 z^{-2} + a_1 z^{-1} + a_0}, \quad (1.9)$$

где

$$a_2 = h_1 p^2 - 2h_2 p + 4,$$

$$a_1 = 2h_1 p^2 - 8,$$

$$a_0 = h_1 p^2 + 2h_2 p + 4,$$

$$h_0 = 0,983, h_1 = 1,103, h_2 = 1,098 [3].$$

3. Фильтр третьего порядка (n=3)

$$H_3(z) = \frac{h_0 p^3 (z^{-1} + 1)^3}{a_3 z^{-3} + a_2 z^{-2} + a_1 z^{-1} + a_0}, \quad (1.10)$$

где

$$a_3 = h_1 p^3 - 2h_2 p^2 + 4h_3 p - 8,$$

$$a_2 = 3h_1 p^3 - 2h_2 p^2 - 4h_3 p + 24,$$

$$a_1 = 3h_1 p^3 + 2h_2 p^2 - 4h_3 p - 24,$$

$$a_0 = h_1 p^3 + 2h_2 p^2 + 4h_3 p + 8,$$

$$h_0 = h_1 = 0,491, h_2 = 1,238, h_3 = 0,988 [3].$$

4. Фильтр четвертого порядка (n=4)

$$H_4(z) = \frac{h_0 p^4 (z^{-1} + 1)^4}{a_4 z^{-4} + a_3 z^{-3} + a_2 z^{-2} + a_1 z^{-1} + a_0}, \quad (1.11)$$

где

$$a_4 = h_1 p^4 - 2h_2 p^3 + 4h_3 p^2 - 8h_4 p + 16,$$

$$a_3 = 4h_1 p^4 - 4h_2 p^3 + 16h_4 p - 64,$$

$$a_2 = 6h_1 p^4 - 8h_3 p^2 + 96,$$

$$a_1 = 4h_1 p^4 + 4h_2 p^3 - 16h_4 p - 64,$$

$$a_0 = h_1 p^4 + 2h_2 p^3 + 4h_3 p^2 + 8h_4 p + 16,$$

$$h_0 = 0,245, h_1 = 0,275, h_2 = 0,743, h_3 = 1,454, h_4 = 0,953 [3].$$

5. Фильтр пятого порядка (n=5)

$$H_5(z) = \frac{h_0 p^5 (z^{-1} + 1)^5}{a_5 z^{-5} + a_4 z^{-4} + a_3 z^{-3} + a_2 z^{-2} + a_1 z^{-1} + a_0}, \quad (1.12)$$

где

$$a_5 = h_1 p^5 - 2h_2 p^4 + 4h_3 p^3 - 8h_4 p^2 + 16h_5 p - 32,$$

$$a_4 = 5h_1 p^5 - 6h_2 p^4 + 4h_3 p^3 + 8h_4 p^2 - 48h_5 p + 160,$$

$$a_3 = 10h_1 p^5 - 4h_2 p^4 - 8h_3 p^3 + 16h_4 p^2 + 32h_5 p - 320,$$

$$a_2 = 10h_1 p^5 + 4h_2 p^4 - 8h_3 p^3 - 16h_4 p^2 + 32h_5 p + 320,$$

$$a_1 = 5h_1 p^5 + 6h_2 p^4 + 4h_3 p^3 - 8h_4 p^2 - 48h_5 p - 160,$$

$$a_0 = h_1 p^5 + 2h_2 p^4 + 4h_3 p^3 + 8h_4 p^2 + 16h_5 p + 32$$

$$h_0 = 0,123, \quad h_1 = 0,122, \quad h_2 = 0,58, \quad h_3 = 0,973, \quad h_4 = 1,688, \quad h_5 = 0,936 [3].$$

1.2.3. Расчет ФВЧ Баттерворта 1-5го порядков

1. Фильтр первого порядка (n=1)

$$H_1(z) = \frac{2h_0(1 - z^{-1})}{a_1 z^{-1} + a_0}, \quad (1.13)$$

где

$$a_0 = 2h_1 + p,$$

$$a_1 = p - 2h_1,$$

$$h_1 = 1, \quad h_0 = 1.$$

2. Фильтр второго порядка (n=2)

$$H_2(z) = \frac{4h_0(1 - z^{-1})^2}{a_2 z^{-2} + a_1 z^{-1} + a_0}, \quad (1.14)$$

где

$$a_2 = 4h_1 - 2h_2 p + p^2,$$

$$a_1 = -8h_1 + 2p^2,$$

$$a_0 = 4h_1 + 2h_2p + p^2,$$

$$h_0 = 1, h_1 = 1, h_2 = 1,414.$$

3. Фильтр третьего порядка (n=3)

$$H_3(z) = \frac{8h_0(1-z^{-1})^3}{a_3z^{-3} + a_2z^{-2} + a_1z^{-1} + a_0}, \quad (1.15)$$

где

$$a_3 = -8h_1 + 4h_2p - 2h_3p^2 + p^3,$$

$$a_2 = 24h_1 - 4h_2p - 2h_3p^2 + 3h^3,$$

$$a_1 = -24h_1 - 4h_2p + 2h_3p^2 + 3p^3,$$

$$a_0 = 8h_1 + 4h_2p + 2h_3p^2 + p^3,$$

$$h_0 = 1, h_1 = 1, h_2 = 2, h_3 = 2.$$

4. Фильтр четвертого порядка (n=4)

$$H_4(z) = \frac{16h_0(1-z^{-1})^4}{a_4z^{-4} + a_3z^{-3} + a_2z^{-2} + a_1z^{-1} + a_0}, \quad (1.16)$$

где

$$a_4 = h_1p^4 - 2h_2p^3 + 4h_3p^2 - 8h_4p + 16,$$

$$a_3 = 4h_1p^4 - 4h_2p^3 + 16h_4p - 64,$$

$$a_2 = 6h_1p^4 - 8h_3p^2 + 96,$$

$$a_1 = 4h_1p^4 + 4h_2p^3 - 16h_4p - 64,$$

$$a_0 = h_1p^4 + 2h_2p^3 + 4h_3p^2 + 8h_4p + 16,$$

$$h_0 = 1, h_1 = 1, h_2 = 2,613, h_3 = 3,4137, h_4 = 2,613.$$

5. Фильтр пятого порядка (n=5)

$$H_5(z) = \frac{32h_0(1-z^{-1})^5}{a_5z^{-5} + a_4z^{-4} + a_3z^{-3} + a_2z^{-2} + a_1z^{-1} + a_0}, \quad (1.17)$$

где

$$a_5 = h_1p^5 - 2h_2p^4 + 4h_3p^3 - 8h_4p^2 + 16h_5p - 32,$$

$$a_4 = 5h_1p^5 - 6h_2p^4 + 4h_3p^3 + 8h_4p^2 - 48h_5p + 160,$$

$$a_3 = 10h_1p^5 - 4h_2p^4 - 8h_3p^3 + 16h_4p^2 + 32h_5p - 320,$$

$$a_2 = 10h_1p^5 + 4h_2p^4 - 8h_3p^3 - 16h_4p^2 + 32h_5p + 320,$$

$$a_1 = 5h_1p^5 + 6h_2p^4 + 4h_3p^3 - 8h_4p^2 - 48h_5p - 160,$$

$$a_0 = h_1p^5 + 2h_2p^4 + 4h_3p^3 + 8h_4p^2 + 16h_5p + 32,$$

$$h_0 = 1, h_1 = 1, h_2 = 3,236, h_3 = 5,236, h_4 = 5,236, h_5 = 3,236.$$

1.1.1. Расчет ФВЧ Чебышева 1-5го порядков с неравномерностью передачи $\varepsilon=0.509$ (1 Дб)

1. Фильтр первого порядка ($n=1$)

$$H_1(z) = \frac{2h_0(1-z^{-1})}{a_1z^{-1} + a_0}, \quad (1.18)$$

где

$$a_0 = 2h_1 + p,$$

$$a_1 = p - 2h_1,$$

$$h_1 = 1,965, h_0 = 1,965.$$

2. Фильтр второго порядка ($n=2$)

$$H_2(z) = \frac{4h_0(1-z^{-1})^2}{a_2z^{-2} + a_1z^{-1} + a_0}, \quad (1.19)$$

где

$$a_2 = 4h_1 - 2h_2p + p^2,$$

$$a_1 = -8h_1 + 2p^2,$$

$$a_0 = 4h_1 + 2h_2p + p^2,$$

$$h_0 = 0,983, h_1 = 1,103, h_2 = 1,098.$$

3. Фильтр третьего порядка ($n=3$)

$$H_3(z) = \frac{8h_0(1-z^{-1})^3}{a_3z^{-3} + a_2z^{-2} + a_1z^{-1} + a_0}, \quad (1.20)$$

где

$$a_3 = -8h_1 + 4h_2p - 2h_3p^2 + p^3,$$

$$a_2 = 24h_1 - 4h_2p - 2h_3p^2 + 3h^3,$$

$$a_1 = -24h_1 - 4h_2p + 2h_3p^2 + 3p^3,$$

$$a_0 = 8h_1 + 4h_2p + 2h_3p^2 + p^3,$$

$$h_0 = 0,491, \quad h_1 = 0,491, \quad h_2 = 1,238, \quad h_3 = 0,988.$$

4. Фильтр четвертого порядка (n=4)

$$H_4(z) = \frac{16h_0(1-z^{-1})^4}{a_4z^{-4} + a_3z^{-3} + a_2z^{-2} + a_1z^{-1} + a_0}, \quad (1.21)$$

где

$$a_4 = h_1p^4 - 2h_2p^3 + 4h_3p^2 - 8h_4p + 16,$$

$$a_3 = 4h_1p^4 - 4h_2p^3 + 16h_4p - 64,$$

$$a_2 = 6h_1p^4 - 8h_3p^2 + 96,$$

$$a_1 = 4h_1p^4 + 4h_2p^3 - 16h_4p - 64,$$

$$a_0 = h_1p^4 + 2h_2p^3 + 4h_3p^2 + 8h_4p + 16,$$

$$h_0 = 0,891, \quad h_1 = 3,636, \quad h_2 = 3,466, \quad h_3 = 5,287, \quad h_4 = 2,702.$$

5. Фильтр пятого порядка (n=5)

$$H_5(z) = \frac{32h_0(1-z^{-1})^5}{a_5z^{-5} + a_4z^{-4} + a_3z^{-3} + a_2z^{-2} + a_1z^{-1} + a_0}, \quad (1.22)$$

где

$$a_5 = h_1p^5 - 2h_2p^4 + 4h_3p^3 - 8h_4p^2 + 16h_5p - 32,$$

$$a_4 = 5h_1p^5 - 6h_2p^4 + 4h_3p^3 + 8h_4p^2 - 48h_5p + 160,$$

$$a_3 = 10h_1p^5 - 4h_2p^4 - 8h_3p^3 + 16h_4p^2 + 32h_5p - 320,$$

$$a_2 = 10h_1p^5 + 4h_2p^4 - 8h_3p^3 - 16h_4p^2 + 32h_5p + 320,$$

$$a_1 = 5h_1p^5 + 6h_2p^4 + 4h_3p^3 - 8h_4p^2 - 48h_5p - 160,$$

$$a_0 = h_1p^5 + 2h_2p^4 + 4h_3p^3 + 8h_4p^2 + 16h_5p + 32,$$

$$h_0 = 1,009, h_1 = 8,197, h_2 = 7,672, h_3 = 13,836, h_4 = 7,680, h_5 = 4,754.$$

1.3. Расчет цифровых фильтров полосовых и режекторных

В данном разделе осуществляется расчет цифровых полосовых фильтров Баттерворта 1-3 порядков.

Исходными параметрами для расчета являются:

$$T = \frac{1}{f_D} \text{ - период дискретизации;}$$

n – порядок фильтра;

w_{c1}, w_{c2} - требуемые граничные частоты цифрового фильтра;

$H_a(s)$ – передаточная функция аналогового прототипа;

$H_n(z)$ – передаточная функция цифрового фильтра n -ого порядка.

$$H_n(z) = H_a\left(\frac{2}{T} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}\right)$$

Для расчета фильтра w_{c1}, w_{c2} пересчитаны на граничные частоты соответствующего аналогового прототипа:

$$w_1 = \frac{2}{T} \cdot \tan \frac{w_{c0} \cdot T}{2}, w_2 = \frac{2}{T} \cdot \tan \frac{w_{c2} \cdot T}{2}.$$

Так же требуется произвести расчет необходимых коэффициентов, а именно:

$$B = w_2 - w_1, w = \sqrt{w_2 w_1}. \quad (1.23)$$

1.3.1. Расчет ПФ Баттерворта 1-3го порядков

1. Фильтр первого порядка ($n=1$)

$$H_1(z) = \frac{b_2 z^{-2} + b_1 z^{-1} + b_0}{a_2 z^{-2} + a_1 z^{-1} + a_0} \quad (1.24)$$

где

$$a_0 = 4 - 2h_1 B T + w^2 T^2$$

$$a_1 = -8 + 2w^2 T^2$$

$$a_2 = 4 + 2h_1 B T + w^2 T^2$$

$$b_0 = 2h_0 B T$$

$$b_1 = 0$$

$$b_2 = -2h_0 B T$$

$$h_0 = 1, h_1 = 1$$

2. Фильтр второго порядка (n=2)

$$H_2(z) = \frac{b_4 z^{-4} + b_3 z^{-3} + b_2 z^{-2} + b_1 z^{-1} + b_0}{a_4 z^{-4} + a_3 z^{-3} + a_2 z^{-2} + a_1 z^{-1} + a_0} \quad (1.25)$$

где

$$a_0 = 16 + 8T h_2 B + 4T^2 (2w^2 + h_1 B^2) + 2T^3 h_2 B w^2 + w^4 T^4$$

$$a_1 = -64 - 16T h_2 B + 4T^3 h_2 B w^2 + 4w^4 T^4$$

$$a_2 = 96 - 8T^2 (2w^2 + h_1 B^2) + 6w^4 T^4$$

$$a_3 = -64 + 16T h_2 B - 4T^3 h_2 B w^2 + 4w^4 T^4$$

$$a_4 = 16 - 8T h_2 B + 4T^2 (2w^2 + h_1 B^2) - 2T^3 h_2 B w^2 + w^4 T^4$$

$$b_0 = 4h_0 B^2 T^2$$

$$b_1 = 0$$

$$b_2 = -8h_0B^2T^2$$

$$b_3 = 0$$

$$b_4 = 4h_0B^2T^2$$

$$h_0 = 1, h_1 = 1, h_2 = 1.414$$

3. Фильтр третьего порядка (n=3)

$$H_3(z) = \frac{b_6z^{-6} + b_5z^{-5} + b_4z^{-4} + b_3z^{-3} + b_2z^{-2} + b_1z^{-1} + b_0}{a_6z^{-6} + a_5z^{-5} + a_4z^{-4} + a_3z^{-3} + a_2z^{-2} + a_1z^{-1} + a_0} \quad (1.26)$$

где

$$a_0 = 64 + 32Bh_3T + 16T^2(3w^2 + h_2B^2) + 8T^3(h_3B2w^2 + h_1B^3) + \\ + 4T^4(3w^4 + h_2B^2w^2) + h_3Bw^42T^5 + w^6T^6$$

$$a_1 = -384 - 128Bh_3T - 32T^2(3w^2 + h_2B^2) + \\ + 8T^4(3w^4 + h_2B^2w^2) + 8h_3Bw^4T^5 + 6w^6T^6$$

$$a_2 = 960 + 160Bh_3T - 16T^2(3w^2 + h_2B^2) - 24T^3(h_3B2w^2 + h_1B^3) - \\ - 4T^4(3w^4 + h_2B^2w^2) + 5h_3Bw^42T^5 + 15w^6T^6$$

$$a_3 = -1280 + 64T^2(3w^2 + h_2B^2) - 16T^4(3w^4 + h_2B^2w^2) + 20w^6T^6$$

$$a_4 = 960 - 160Bh_3T - 16T^2(3w^2 + h_2B^2) + 24T^3(h_3B2w^2 + h_1B^3) - \\ - 4T^4(3w^4 + h_2B^2w^2) - 5h_3Bw^42T^5 + 15w^6T^6$$

$$a_5 = -384 + 128Bh_3T - 32T^2(3w^2 + h_2B^2) + 8T^4(3w^4 + h_2B^2w^2) - \\ - 8h_3Bw^4T^5 + 6w^6T^6$$

$$a_6 = 64 - 32Bh_3T + 16T^2(3w^2 + h_2B^2) - 8T^3(h_3B2w^2 + h_1B^3) + \\ + 4T^4(3w^4 + h_2B^2w^2) - h_3Bw^42T^5 + w^6T^6$$

$$b_0 = 8h_0B^3T^3$$

$$b_1 = 0$$

$$b_2 = -24h_0B^3T^3$$

$$b_3 = 0$$

$$b_4 = 24h_0B^3T^3$$

$$b_5 = 0$$

$$b_6 = -8h_0B^3T^3$$

$$h_0 = 1, h_1 = 1, h_2 = 2, h_3 = 2$$

1.3.2. Расчет ПФ Чебышева 1-3го порядков с неравномерностью передачи $\varepsilon=0.509$ (1 Дб)

1. Фильтр первого порядка ($n=1$)

$$H_1(z) = \frac{b_2z^{-2} + b_1z^{-1} + b_0}{a_2z^{-2} + a_1z^{-1} + a_0} \quad (1.27)$$

где

$$a_0 = 4 - 2h_1BT + w^2T^2$$

$$a_1 = -8 + 2w^2T^2$$

$$a_2 = 4 + 2h_1BT + w^2T^2$$

$$b_0 = 2h_0BT$$

$$b_1 = 0$$

$$b_2 = -2h_0BT$$

$$h_0 = 1.965, h_1 = 1.965$$

2. Фильтр второго порядка ($n=2$)

$$H_2(z) = \frac{b_4 z^{-4} + b_3 z^{-3} + b_2 z^{-2} + b_1 z^{-1} + b_0}{a_4 z^{-4} + a_3 z^{-3} + a_2 z^{-2} + a_1 z^{-1} + a_0} \quad (1.28)$$

где

$$a_0 = 16 + 8Th_2B + 4T^2(2w^2 + h_1B^2) + 2T^3h_2Bw^2 + w^4T^4$$

$$a_1 = -64 - 16Th_2B + 4T^3h_2Bw^2 + 4w^4T^4$$

$$a_2 = 96 - 8T^2(2w^2 + h_1B^2) + 6w^4T^4$$

$$a_3 = -64 + 16Th_2B - 4T^3h_2Bw^2 + 4w^4T^4$$

$$a_4 = 16 - 8Th_2B + 4T^2(2w^2 + h_1B^2) - 2T^3h_2Bw^2 + w^4T^4$$

$$b_0 = 4h_0B^2T^2$$

$$b_1 = 0$$

$$b_2 = -8h_0B^2T^2$$

$$b_3 = 0$$

$$b_4 = 4h_0B^2T^2$$

$$h_0 = 0.983, h_1 = 1.103, h_2 = 1.098$$

3. Фильтр третьего порядка (n=3)

$$H_3(z) = \frac{b_6 z^{-6} + b_5 z^{-5} + b_4 z^{-4} + b_3 z^{-3} + b_2 z^{-2} + b_1 z^{-1} + b_0}{a_6 z^{-6} + a_5 z^{-5} + a_4 z^{-4} + a_3 z^{-3} + a_2 z^{-2} + a_1 z^{-1} + a_0} \quad (1.29)$$

где

$$a_0 = 64 + 32Bh_3T + 16T^2(3w^2 + h_2B^2) + 8T^3(h_3B2w^2 + h_1B^3) + 4T^4(3w^4 + h_2B^2w^2) + h_3Bw^42T^5 + w^6T^6$$

$$a_1 = -384 - 128Bh_3T - 32T^2(3w^2 + h_2B^2) + 8T^4(3w^4 + h_2B^2w^2) + 8h_3Bw^4T^5 + 6w^6T^6$$

$$a_2 = 960 + 160Bh_3T - 16T^2(3w^2 + h_2B^2) - 24T^3(h_3B2w^2 + h_1B^3) - \\ - 4T^4(3w^4 + h_2B^2w^2) + 5h_3Bw^4 2T^5 + 15w^6T^6$$

$$a_3 = -1280 + 64T^2(3w^2 + h_2B^2) - 16T^4(3w^4 + h_2B^2w^2) + 20w^6T^6$$

$$a_4 = 960 - 160Bh_3T - 16T^2(3w^2 + h_2B^2) + 24T^3(h_3B2w^2 + h_1B^3) - \\ - 4T^4(3w^4 + h_2B^2w^2) - 5h_3Bw^4 2T^5 + 15w^6T^6$$

$$a_5 = -384 + 128Bh_3T - 32T^2(3w^2 + h_2B^2) + 8T^4(3w^4 + h_2B^2w^2) - \\ - 8h_3Bw^4T^5 + 6w^6T^6$$

$$a_6 = 64 - 32Bh_3T + 16T^2(3w^2 + h_2B^2) - 8T^3(h_3B2w^2 + h_1B^3) + \\ + 4T^4(3w^4 + h_2B^2w^2) - h_3Bw^4 2T^5 + w^6T^6$$

$$b_0 = 8h_0B^3T^3$$

$$b_1 = 0$$

$$b_2 = -24h_0B^3T^3$$

$$b_3 = 0$$

$$b_4 = 24h_0B^3T^3$$

$$b_5 = 0$$

$$b_6 = -8h_0B^3T^3$$

$$h_0 = 0.491, h_1 = 0.491, h_2 = 1.238, h_3 = 0.988$$

1.3.3. Расчет ЗФ Баттерворта 1-3го порядков

1. Фильтр первого порядка (n=1)

$$H_1(z) = \frac{b_2z^{-2} + b_1z^{-1} + b_0}{a_2z^{-2} + a_1z^{-1} + a_0} \quad (1.30)$$

где

$$a_0 = 4h_1 + 2BT + h_1 w^2 T^2$$

$$a_1 = -8h_1 + 2h_1 w^2 T^2$$

$$a_2 = 4h_1 - 2BT + h_1 w^2 T^2$$

$$b_0 = 4h_0 + h_0 * w^2 T^2$$

$$b_1 = -8h_0 + 2h_0 * w^2 T^2$$

$$b_2 = 4h_0 + h_0 * w^2 T^2$$

$$h_0 = 1, h_1 = 1$$

2. Фильтр второго порядка (n=2)

$$H_2(z) = \frac{b_4 z^{-4} + b_3 z^{-3} + b_2 z^{-2} + b_1 z^{-1} + b_0}{a_4 z^{-4} + a_3 z^{-3} + a_2 z^{-2} + a_1 z^{-1} + a_0} \quad (1.31)$$

где

$$a_0 = 16h_1 + 8Th_2B + 4T^2(2h_1w^2 + B^2) + 2T^3h_2Bw^2 + h_1w^4T^4$$

$$a_1 = -64h_1 - 16Th_2B + 4T^3h_2Bw^2 + 4h_1w^4T^4$$

$$a_2 = 96h_1 - 8T^2(2h_1w^2 + B^2) + 6h_1w^4T^4$$

$$a_3 = -64h_1 + 16Th_2B - 4T^3h_2Bw^2 + 4h_1w^4T^4$$

$$a_4 = 16h_1 - 8Th_2B + 4T^2(2h_1w^2 + B^2) - 2T^3h_2Bw^2 + h_1w^4T^4$$

$$b_0 = 16h_0 + 8h_0T^2w^2 + h_0w^4T^4$$

$$b_1 = -64h_0 + 4h_0w^4T^4$$

$$b_2 = 96h_0 - 16h_0T^2w^2 + 6h_0w^4T^4$$

$$b_3 = -64h_0 + 4h_0w^4T^4$$

$$b_4 = 16h_0 + 8h_0T^2w^2 + h_0w^4T^4$$

$$h_0=1, h_1=1, h_2=1.414$$

3. Фильтр третьего порядка (n=3)

$$H_3(z) = \frac{b_6 z^{-6} + b_5 z^{-5} + b_4 z^{-4} + b_3 z^{-3} + b_2 z^{-2} + b_1 z^{-1} + b_0}{a_6 z^{-6} + a_5 z^{-5} + a_4 z^{-4} + a_3 z^{-3} + a_2 z^{-2} + a_1 z^{-1} + a_0} \quad (1.32)$$

где

$$a_0 = 64h_1 + 32Bh_2T + 16T^2(3h_1w^2 + h_3B^2) + 8T^3(h_2B2w^2 + B^3) + \\ + 4T^4(3h_1w^4 + h_3B^2w^2) + h_2Bw^42T^5 + h_1w^6T^6$$

$$a_1 = -384h_1 - 128Bh_2T - 32T^2(3h_1w^2 + h_3B^2) + \\ + 8T^4(3h_1w^4 + h_3B^2w^2) + 8h_2Bw^4T^5 + 6h_1w^6T^6$$

$$a_2 = 960h_1 + 160Bh_2T - 16T^2(3h_1w^2 + h_3B^2) - 24T^3(h_2B2w^2 + B^3) - \\ - 4T^4(3h_1w^4 + h_3B^2w^2) + 5h_2Bw^42T^5 + 15h_1w^6T^6$$

$$a_3 = -1280h_1 + 64T^2(3h_1w^2 + h_3B^2) - 16T^4(3h_1w^4 + h_3B^2w^2) + 20h_1w^6T^6$$

$$a_4 = 960h_1 - 160Bh_2T - 16T^2(3h_1w^2 + h_3B^2) + 24T^3(h_2B2w^2 + B^3) - \\ - 4T^4(3h_1w^4 + h_3B^2w^2) - 5h_2Bw^42T^5 + 15h_1w^6T^6$$

$$a_5 = -384h_1 + 128Bh_2T - 32T^2(3h_1w^2 + h_3B^2) + 8T^4(3h_1w^4 + h_3B^2w^2) - \\ - 8h_2Bw^4T^5 + 6h_1w^6T^6$$

$$a_6 = 64h_1 - 32Bh_2T + 16T^2(3h_1w^2 + h_3B^2) - 8T^3(h_2B2w^2 + B^3) + \\ + 4T^4(3h_1w^4 + h_3B^2w^2) - h_2Bw^42T^5 + h_1w^6T^6$$

$$b_0 = 64h_0 + 48h_0w^2T^2 + 12h_0w^4T^4 + h_0w^6T^6$$

$$b_1 = -384h_0 - 96h_0w^2T^2 + 24h_0w^4T^4 + 6h_0w^6T^6$$

$$b_2 = 960h_0 - 48h_0w^2T^2 - 12h_0w^4T^4 + 15h_0w^6T^6$$

$$b_3 = -1280h_0 + 192w^2T^2 - 48h_0w^4T^4 + 20h_0w^6T^6$$

$$b_4 = 960h_0 - 48h_0w^2T^2 - 12h_0w^4T^4 + 15h_0w^6T^6$$

$$b_5 = -384h_0 - 96h_0w^2T^2 + 24h_0w^4T^4 + 6h_0w^6T^6$$

$$b_6 = 64h_0 + 48h_0w^2T^2 + 12h_0w^4T^4 + h_0w^6T^6$$

$$h_0 = 1, h_1 = 1, h_2 = 2, h_3 = 2$$

1.3.4. Расчет ЗФ Чебышева 1-3го порядков с неравномерностью передачи $\varepsilon=0.509$ (1 Дб)

1. Фильтр первого порядка ($n=1$)

$$H_1(z) = \frac{b_2z^{-2} + b_1z^{-1} + b_0}{a_2z^{-2} + a_1z^{-1} + a_0} \quad (1.33)$$

где

$$a_0 = 4h_1 + 2BT + h_1w^2T^2$$

$$a_1 = -8h_1 + 2h_1w^2T^2$$

$$a_2 = 4h_1 - 2BT + h_1w^2T^2$$

$$b_0 = 4h_0 + h_0 * w^2T^2$$

$$b_1 = -8h_0 + 2h_0 * w^2T^2$$

$$b_2 = 4h_0 + h_0 * w^2T^2$$

$$h_0 = 1.965, h_1 = 1.965$$

2. Фильтр второго порядка ($n=2$)

$$H_2(z) = \frac{b_4z^{-4} + b_3z^{-3} + b_2z^{-2} + b_1z^{-1} + b_0}{a_4z^{-4} + a_3z^{-3} + a_2z^{-2} + a_1z^{-1} + a_0} \quad (1.34)$$

где

$$a_0 = 16h_1 + 8Th_2B + 4T^2(2h_1w^2 + B^2) + 2T^3h_2Bw^2 + h_1w^4T^4$$

$$a_1 = -64h_1 - 16Th_2B + 4T^3h_2Bw^2 + 4h_1w^4T^4$$

$$a_2 = 96h_1 - 8T^2(2h_1w^2 + B^2) + 6h_1w^4T^4$$

$$a_3 = -64h_1 + 16Th_2B - 4T^3h_2Bw^2 + 4h_1w^4T^4$$

$$a_4 = 16h_1 - 8Th_2B + 4T^2(2h_1w^2 + B^2) - 2T^3h_2Bw^2 + h_1w^4T^4$$

$$b_0 = 16h_0 + 8h_0T^2w^2 + h_0w^4T^4$$

$$b_1 = -64h_0 + 4h_0w^4T^4$$

$$b_2 = 96h_0 - 16h_0T^2w^2 + 6h_0w^4T^4$$

$$b_3 = -64h_0 + 4h_0w^4T^4$$

$$b_4 = 16h_0 + 8h_0T^2w^2 + h_0w^4T^4$$

$$h_0 = 0.983, h_1 = 1.103, h_2 = 1.098$$

3. Фильтр третьего порядка (n=3)

$$H_3(z) = \frac{b_6z^{-6} + b_5z^{-5} + b_4z^{-4} + b_3z^{-3} + b_2z^{-2} + b_1z^{-1} + b_0}{a_6z^{-6} + a_5z^{-5} + a_4z^{-4} + a_3z^{-3} + a_2z^{-2} + a_1z^{-1} + a_0} \quad (1.35)$$

где

$$a_0 = 64h_1 + 32Bh_2T + 16T^2(3h_1w^2 + h_3B^2) + 8T^3(h_2B2w^2 + B^3) + \\ + 4T^4(3h_1w^4 + h_3B^2w^2) + h_2Bw^42T^5 + h_1w^6T^6$$

$$a_1 = -384h_1 - 128Bh_2T - 32T^2(3h_1w^2 + h_3B^2) + 8T^4(3h_1w^4 + h_3B^2w^2) + \\ + 8h_2Bw^4T^5 + 6h_1w^6T^6$$

$$a_2 = 960h_1 + 160Bh_2T - 16T^2(3h_1w^2 + h_3B^2) - 24T^3(h_2B2w^2 + B^3) - \\ - 4T^4(3h_1w^4 + h_3B^2w^2) + 5h_2Bw^42T^5 + 15h_1w^6T^6$$

$$a_3 = -1280h_1 + 64T^2(3h_1w^2 + h_3B^2) - 16T^4(3h_1w^4 + h_3B^2w^2) + 20h_1w^6T^6$$

$$a_4 = 960h_1 - 160Bh_2T - 16T^2(3h_1w^2 + h_3B^2) + 24T^3(h_2B2w^2 + B^3) - 4T^4(3h_1w^4 + h_3B^2w^2) - 5h_2Bw^42T^5 + 15h_1w^6T^6$$

$$a_5 = -384h_1 + 128Bh_2T - 32T^2(3h_1w^2 + h_3B^2) + 8T^4(3h_1w^4 + h_3B^2w^2) - 8h_2Bw^4T^5 + 6h_1w^6T^6$$

$$a_6 = 64h_1 - 32Bh_2T + 16T^2(3h_1w^2 + h_3B^2) - 8T^3(h_2B2w^2 + B^3) + 4T^4(3h_1w^4 + h_3B^2w^2) - h_2Bw^42T^5 + h_1w^6T^6$$

$$b_0 = 64h_0 + 48h_0w^2T^2 + 12h_0w^4T^4 + h_0w^6T^6$$

$$b_1 = -384h_0 - 96h_0w^2T^2 + 24h_0w^4T^4 + 6h_0w^6T^6$$

$$b_2 = 960h_0 - 48h_0w^2T^2 - 12h_0w^4T^4 + 15h_0w^6T^6$$

$$b_3 = -1280h_0 + 192w^2T^2 - 48h_0w^4T^4 + 20h_0w^6T^6$$

$$b_4 = 960h_0 - 48h_0w^2T^2 - 12h_0w^4T^4 + 15h_0w^6T^6$$

$$b_5 = -384h_0 - 96h_0w^2T^2 + 24h_0w^4T^4 + 6h_0w^6T^6$$

$$b_6 = 64h_0 + 48h_0w^2T^2 + 12h_0w^4T^4 + h_0w^6T^6$$

$$h_0 = 0.491, h_1 = 0.491, h_2 = 1.238, h_3 = 0.988$$

1.4. Микроконтроллеры для обработки сигналов

Для того чтобы исследовать цифровые фильтры, потребуется быстродействующий микроконтроллер с ЦАП, АЦП, UART, таймерами и модулем операций с плавающей запятой (FPU). АЦП требуется для того, чтобы преобразовать входной аналоговый сигнал в цифровой вид. Для того чтобы вывести отфильтрованный сигнал из микроконтроллера потребуется ЦАП. UART необходим для связи микроконтроллера и компьютера. Таймер применяется для того, чтобы вызывать прерывания АЦП и задавать частоту дискретизации, таким образом можно изменять частоту дискретизации, изменяя период счета таймера. Модуль FPU требуется затем, что при построении цифровых фильтров и обработки сигналов используются числа с плавающей запятой. Так же необходимым условием можно считать быстродействие микроконтроллера, это связано с обработкой сигналов высоких частот.

Исходя из выше указанных условий, всем требованиям удовлетворяет микроконтроллер STM32F4 (фирмы STMicroelectronics) [4]. Поэтому в разработке данного комплекса решено использовать отладочную плату STM32F4_DISCOVERY, на базе микроконтроллера STM32F407VGT6 [5].

Внешний вид отладочной платы представлен на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 Внешний вид отладочной платы STM32F4_Discovery [6]

Таким образом, изучение основ расчета и проектирования систем цифровой обработки сигналов является необходимым для студентов. Следовательно, задача создания программно-аппаратного комплекса по цифровой обработке сигналов является достаточно актуальной.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1A22	Киселевой Виктории Андреевне

Институт	ИНК	Кафедра	ПМЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Сумма бюджета проекта: 440717 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с нормами и нормативами расходования материалов.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Стандартная система налогообложения.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведена оценка коммерческого потенциала: 1. Потенциальные потребители результатов исследования. 2. Анализ конкурентных технических решений 3. SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Произведен расчет бюджета научных исследований.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определена ресурсная, финансовая, бюджетная эффективность исследования посредством расчета интегрального финансового показателя, интегрального показателя ресурсоэффективности и эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой	Чистякова Наталья Олеговна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1A22	Киселева Виктория Андреевна		

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

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

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

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

Выполним сегментирование рынка программ или оборудования для изучения цифровой обработки сигналов по следующим критериям: возможность изменения входных параметров, наличие аппаратной реализации. Исследуя данные критерии, построим карту сегментирования рынка, представленную на рисунке 5.1.

	Изменяемые входные параметры		
	Выбор различных параметров в фильтра	Выбор типа медицинского сигнала	Выбор аудиосигнала
С аппаратно-й			
Без аппаратно-й			

Рисунок 5.1. Карта сегментирования рынка программ или оборудования по цифровой обработке сигналов

 - существует на рынке;  - отсутствует на рынке.

Из карты сегментирования рынка видно, что в сфере средств по цифровой обработке сигналов комплекс с аппаратной реализацией и возможностью выбора различных параметров фильтров будет высокая конкуренция, а для комплекса с аппаратной реализацией и возможностью выбора медицинских и аудио - сигналов конкуренция снижена. В виду того, что для изучения принципов цифровой обработки сигналов требуется использовать различные сигналы, то целесообразно освоить рынок комплексом с аппаратной реализации и возможностью изменений всяких перечисленных входных параметров.

5.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить

направления для ее будущего повышения. В таблице 5.1 приведена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

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. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,3	5	3	4	1,5	0,9	1,2
2. Энергоэкономичность	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
3. Надежность	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
4. Уровень шума	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
5. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,2	5	3	4	1	0,6	0,8
6. Простота эксплуатации	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
7. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
8. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	4	2	0,2	0,2	0,1
9. Цена	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
Итого	1	39	36	31	4,55	3,65	3,65

Ф – комплекс с аппаратной реализацией и возможностью изменений всяких перечисленных входных параметров, К1 – программа с возможностью изменений всяких перечисленных входных параметров (без аппаратной реализации), К2 – комплекс с аппаратной реализацией и возможностью частичных изменений перечисленных входных параметров.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 4.1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента, B_i – вес показателя (в долях единицы), B_i – балл i -го показателя.

Из таблицы 5.1 видно, что разрабатываемый продукт наиболее конкурентоспособен, по сравнению с конкурентной продукцией, за счет таких показателей, как удобство в эксплуатации, надежность, функциональная мощность, простота эксплуатации. Однако разрабатываемый образец уступает в цене, энергоэкономичности и уровне шума. Следовательно, для того чтобы удержать данный продукт на рынке в будущем необходимо уменьшать цену разработки, а также уменьшать уровень энергопотребления и снизить уровни шумов.

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.

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

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 5 2.

Таблица 5.2. Матрица SWOT.

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	S1. Высокая	W1. Сравнительно

	функциональ-ная мощность. S2. Наличие возможности аппаратной реализации. S3. Наличие возможности изменений различных параметров входных сигналов. S4. Экологичность технологии. S5. Высокая конкуренто-способность продукта.	слабая экономичность W2. Относительная высокая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. W3. Относительно высокий уровень шума из-за вспомогательного источника питания для аппаратной реализации.
Возможности: O1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ O2. Появление дополнительного спроса на новый продукт O3. Повышение стоимости конкурентных разработок		
Угрозы: T1. Отсутствие спроса на новые технологии T2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства T3. Увеличение конкуренции		

Перейдем к реализации второго этапа.

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

среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта, отображенную в таблице 5.3. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 5.3. Интерактивная матрица проекта.

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		S1	S2	S3	S4	S5
	O1	+	+	+	+	+
	O2	0	-	-	-	+
	O3	-	-	-	-	+
Угрозы проекта	T1	-	-	-	-	-
	T2	-	-	-	-	0
	T3	-	-	-	-	+
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		W1	W2	W3		
	O1	+	+	+		
	O2	0	-	-		
	O3	-	+	-		
Угрозы проекта	T1	+	-	-		
	T2	-	-	-		
	T3	+	+	-		

Из интерактивной матрицы видно, что необходимо сделать упор на последнюю сильную сторону проекта, а именно: «Высокая конкурентоспособность продукта», так как она соответствует сразу всем возможностям. Что касается слабых сторон проекта, то необходимо приложить усилия, для увеличения экономичности и снижения стоимости. Ведь именно эти две слабости соответствуют большему числу угроз.

5.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес. Результаты занесены в таблицу 5.4.

Таблица 5.4. Морфологическая матрица для комплекса по цифровой обработке сигналов.

	1	2	3
А. Источник питания	постоянный источник питания	аккумулятор	сеть
Б. Главный элемент	микроконтроллер	микропроцессор	микросхема
В. Программа для расчетов параметров	собственно разработанная	Fda в Matlab	Mathcad
Г. Элементная база	комбинированная	зарубежная	отечественная
Д. Мобильность	ограниченная мобильность	стационарный	переносной
Е. Корпус	комбинированный	металлический	пластмассовый

В морфологической матрице указаны три вида исполнения программы по цифровой обработке сигналов.

Исполнение 1: A1B1B1Г1Д1Е1;

Исполнение 2: A2B2B2Г2Д2Е2;

Исполнение 3: A3B3B3Г3Д3Е3.

В данной научно - исследовательской работе представлено первое исполнение.

5.3. Планирование научно-исследовательских работ

5.3.1. 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.

Порядок составления этапов и работ, а также исполнителей, представлен в таблице 5.5.

Таблица 5.5. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнител я
Разработка технического задания	1	Постановка задачи	НР, И
Выбор направления исследований	2	Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР
	3	Подбор и изучение материалов по тематике	И
	4	Разработка календарного плана	НР
	5	Выбор структурной схемы устройства	И
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов.	И
	7	Создание алгоритма программы	И
	8	Создание программного обеспечения	И
	9	Экспериментальная проверка теоретических расчетов	И
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности полученных результатов	НР
Проведение ОКР			
Изготовление и испытание макета (опытного образца)	11	Разработка макета устройства	НР, И
	12	Проведение экспериментальных исследований	НР, И
	13	Корректировка параметров принципиальной схемы устройства	НР, И
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	14	Оформление расчетно-пояснительной записки	НР, И
	15	Оформление графического	НР, И

		материала	
	16	Оформление патента на ПО	НР, И
	17	Подведение итогов	НР, И

5.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (5.2)$$

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

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

$t_{\max i}$ – 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5.3)$$

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

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

5.3.3. Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5.5)$$

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа. Результаты расчетов представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. Временные показатели проведения научного исследования в первом исполнении.

Название работы	Трудоёмкость работ									Испол нители		Длитель- ность работ в рабочих днях T_{pi}			Длитель-ность работ в календарных днях T_{ki}		
	$t_{min},$ чел-дни			$t_{max},$ чел-дни			$t_{ожсi},$ чел-дни										
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	НР	И	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Постановка задачи	3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	1	1	1, 7	1, 7	1, 7	2	2	2
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	1	0	2, 4	2, 4	2, 4	2,9	2,9	2,9
Подбор и изучение материалов по тематике	20	20	20	22	22	22	21	21	21	0	1	2 1	2 1	2 1	25, 2	25, 2	25, 2
Разработка календарного плана	2	2	2	4	4	4	2,8	2,8	2,8	1	0	2, 8	2, 8	2, 8	3,4	3,4	3,4
Выбор структурной схемы устройства	5	6	7	6	7	8	5,8	6,4	7,4	0	1	5, 8	6, 4	7, 4	7	7,7	8,9
Проведение теоретически х расчетов.	7	7	7	9	9	9	7,8	7,8	7,8	0	1	7, 8	7, 8	7, 8	9,4	9,4	9,4
Создание алгоритма программы	6	3	3	9	6	6	7,2	4,2	4,2	0	1	7, 2	4, 2	4, 2	8,6	5	5
Создание программног о обеспечения	60	0	0	80	0	0	68	0	0	0	1	6 8	0	0	81, 6	0	0
Эксперимент альная проверка теоретически х расчетов	10	10	10	12	12	12	10, 8	10, 8	10, 8	0	1	1 0, 8	1 0, 8	1 0, 8	13	13	13
Оценка эффективнос ти полученных результатов	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	1	0	1, 4	1, 4	1, 4	1,7	1,7	1,7

Разработка макета устройства	5	10	10	6	12	12	5,4	10,8	10,8	1	1	2,7	5,4	5,4	3	7	7
Проведение экспериментальных исследований	1	0	0	2	0	0	1,4	0	0	1	1	0,7	0	0	1	0	0
Корректировка параметров принципиальной схемы устройства	1	2	2	2	3	3	1,4	2,4	2,4	1	1	0,7	1,2	1,2	1	1,4	1,4
Оформление расчетно-пояснительной записки	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	1	1	0,7	0,7	0,7	1	1	1
Оформление графического материала	2	1	1	3	2	2	2,4	1,4	1,4	1	1	1,2	0,7	0,7	1,4	1	1
Оформление патента на ПО	5	0	0	6	0	0	5,4	0	0	1	1	2,7	0	0	3	0	0
Подведение итогов	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	1	1	0,7	0,7	0,7	1	1	1
Итого	132	69	70	174	90	91	149,4	77,6	78,6	11	14	138,3	67,2	68,2	166,2	81,7	82,9

Таблица 5.7. Календарный план-график проведения НИОКР по теме.

№ рабо т	Вид работ	Испол нители	T_{ki} , Кал.д н	Март			Апрель			Май			Июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Постановка задачи	НР, И	2	■										
2	Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР	2,9	■										
3	Подбор и изучение материалов по тематике	И	25,2	■	■	■								
4	Разработка календарного плана	НР	3,4			■								
5	Выбор структурной схемы устройства	И	7			■								
6	Проведение теоретических расчетов.	И	9,4											
7	Создание алгоритма	И	8,6					■						

	программы													
8	Создание программного обеспечения	И	81,6											
9	Экспериментальная проверка теоретических расчетов	И	13											
10	Оценка эффективности полученных результатов	НР	1,7											
11	Разработка макета устройства	НР, И	3											
12	Проведение экспериментальных исследований	НР, И	1											
13	Корректировка параметров принципиальной схемы устройства	НР, И	1											
14	Оформление расчетно-пояснительной записки	НР, И	1											

15	Оформление графического материала	НР, И	1,4												
16	Оформление патента на ПО	НР, И	3												
17	Подведение итогов	НР,И	1												

5.3.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

5.3.4.1. Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (5.6)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Результаты расчетов представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8. Материальные затраты.

Наименование	Единиц а измере н-ия	Количество			Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (с учетом транспортных расходов), (З _м), руб.		
		Исп .1	Исп .2	Исп .3		Исп.1	Исп. 2	Исп. 3
Микроконтролл ер	шт	1	0	0	1300	1350	0	0
Микросхема	шт	0	0	6	250	0	0	1600
Постоянные резисторы	шт	35	35	35	3	110	110	110
Переменные резистры	шт	5	5	5	15	80	80	80
Двойной перемен-ный резистор	шт	1	1	1	55	60	60	60
Конденсаторы	шт	21	21	21	3	70	70	70
Операционные усилители (ОУ)	шт	4	4	4	15	65	65	65
Быстродействи ю-щие ОУ	шт	1	1	1	150	155	155	155
Тетрадь 96 листов	шт	1	1	1	30	36	36	36
Ручка	шт	1	1	1	10	12	12	12
Итого						1938	2488	3588

5.3.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования

производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений. Результаты расчетов представлены в таблице 5.9.

Таблица 5.9. Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ.

№ п/ п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудовани я			Цена единицы оборудова ния, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования(с учетом затрат на доставку и монтаж), тыс. руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Источник питания	1	0	0	5000	7500	0	0
2.	Осциллограф	1	1	1	15000	22500	2250 0	2250 0
3.	Аккумулятор	0	1	0	2500	0	3000	0
Итого:						30000	2550 0	2250 0

5.3.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы

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

непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (5.7)$$

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

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

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (5.8)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 6);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m * M}{F_o}, \quad (5.9)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

F_o – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн (таблица 5.10).

Таблица 5.10. Баланс рабочего времени.

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней – выходные дни - праздничные дни	64	64

Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезням	30	30
Действительный годовой фонд рабочего времени	272	272

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}}, \quad (5.10)$$

где $З_{\text{тс}}$ - заработная плата по тарифной ставке, руб;

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

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

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 5.11.

Таблица 5.11. Расчет основной заработной платы.

Исполнитель и	Разряд	$З_{\text{тс}}$, руб	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб	$З_{\text{дн}}$, руб	$T_{\text{р}}$, Раб.д н	$З_{\text{осн}}$, руб
Руководитель	Доцент, к. ф-м. н.	23264,86	0,3	0,2	0	34897,29	1339,23	138,3	185215,509
Инженер	1	6976,22	0,3	0	1,3	11161,952	428,36	138,3	59242,188
ИТОГО, руб									244457,688

Таблица 5.12. Расчет основной заработной платы.

Исполнитель и по категориям			T_{ki} , чел.-дн.			$З_{дн}$, руб			$З_{осн}$, руб.		
Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Н Р	Н Р	НР	166, 2	81,7	82,9	133 9,23	133 9,23	1339, 23	185215,5 09	10941 5,091	111022, 167
И	И	И	166, 2	81,7	82,9	428, 36	428, 36	428,3 6	59242,18 8	34997, 012	35511,0 44
ИТОГО, руб									244457,6 88	14441 2,103	146533, 207

5.3.4.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} \quad (5.11)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

5.3.4.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} * (З_{осн} + З_{доп}), \quad (5.12)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (таблица 5.13).

Таблица 5.13 Отчисления во внебюджетные фонды.

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	185215,509	109415,091	111022,167	22225,86108	13129,8	13322,7
Студент - дипломник	59242,188	34997,012	35511,044	7109,0625	4199,64	4261,3
$k_{внеб}$	0,271					
Итого						
Исполнение 1	74197,80019					
Исполнение 2	43831,9615					
Исполнение 3	44475,7602					

5.3.4.6. Накладные расходы

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

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (5.13)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

5.3.4.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.14.

Таблица 5.14. Расчет бюджета затрат НТИ.

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	1938	2488	3588	Пункт 3.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	30000	25500	22500	Пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	244457,688	144412,103	146533,207	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	29334,92	17329,45	17583,99	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	74197,80019	43831,9615	44475,7602	Пункт 3.4.5
6. Накладные расходы	60788,55	37369,84	37548,95	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	440717	270931,4	272229,9	Сумма ст. 1- 6

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (5.14)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки (таблица 5.15) отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Таблица 5.15. Расчет Интегрального финансового показателя.

№ исполнения	Стоимость исполнения	Максимальная стоимость исполнения	Интегральный финансовый показатель
1	440717	440717	1
2	270931,4		0,61
3	272229,9		0,62

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.15)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 5.16).

Таблица 5.16. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	5	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	3	3
3. Помехоустойчивость	0,15	5	4	5
4. Энергосбережение	0,25	5	3	5

5. Надежность	0,15	4	4	4
6. Материалоемкость	0,20	5	3	3
ИТОГО	1			

$$I_{p-исп1} = 4*0,1 + 4*0,15 + 5*0,15 + 5*0,25 + 4*0,15 + 5*0,20 = 4,6;$$

$$I_{p-исп2} = 5*0,1 + 3*0,15 + 4*0,15 + 3*0,25 + 4*0,15 + 4*0,20 = 3,7;$$

$$I_{p-исп3} = 3*0,1 + 3*0,15 + 5*0,15 + 5*0,25 + 4*0,15 + 3*0,20 = 3,5.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (5.16)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 4.17) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (5.17)$$

Таблица 5.17. Сравнительная эффективность разработки.

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,61	0,62
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,7	3,5
3	Интегральный показатель эффективности	4,6	6	5,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	-	0,76	0

Сравнив эффективности всех исполнений можно сделать вывод, что самым экономически выгодным исполнением является исполнение номер два. Экономическая выгода данного исполнения достигается за счет того, что отсутствует необходимости во вспомогательном источнике питания, а так же в отсутствии времени затрачиваемого на создание ПО. Спрос на комплекс для изучения цифровых фильтров данного исполнения является не высоким, поэтому целесообразно выбрать исполнение номер один. Первый вариант исполнения ненамного проигрывает по эффективности исполнения, учитывая то, что на создание проекта уходит больше времени, а соответственно и финансовый показатель будет выше. Однако на данный момент рассчитываемый комплекс является первым на рынке. Тем самым научная новизна в первом исполнении гораздо выше и это оказывает положительное влияние на спрос на продукт.

Список публикаций

1. Киселева В.А., Торгаев С.Н. Программа по изучению цифровой обработки сигналов // Неразрушающий контроль: сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 2 т., Томск, 25-29 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - Т. 1 - С. 269-272.
2. Торгаев С. Н, Евтушенко Г. С, Огородников Д. Н, Киселева В. А. Программно – аппаратный комплекс для цифровой обработки сигналов // Известия вузов.ФИЗИКА – 2015. -№11/2. – с.47-52.
3. Stanislav N. Torgaev, Wang Di, Daria S. Chertikhina, Olesya A. Kozhemyak, Sergey V. Ponomarev Hardware-software Complex for Studying of Digital Filters // XI Международная IEEE Сибирская конференция по управлению и связи SIBCON-2015 (в печати).
4. Ван Ди, Киселева В.А. Реализация цифрового фильтра с использованием микроконтроллера STM32F407 // V Всероссийская научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность».

