

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»
Отделение школы (НОЦ) – Отделение информационных технологий

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование алгоритмов фильтрации при обработке зашумленных сигналов

УДК 004.62:621.391.822:551.501

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ82	Феклин С. Ф.		

Руководитель

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ботыгин И. А.	к. техн. наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент»

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В. Ю.	к. техн. наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Горбенко М. В.	к. экон. наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ботыгин И. А.	к. техн. наук		

**Планируемые результаты обучения по ООП (магистратура) 09.04.01
Информатика и вычислительная техника**

Код	Результаты обучения	Требования ФГОС 3++ ВО, СУОС ТПУ, критерии ассоциации инженерного образования России и международных стандартов, требования профессиональных стандартов России
Р1	Самостоятельно приобретать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в области современных информационно-коммуникационных технологий для решения междисциплинарных инженерных задач.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-1, ОПК-4), СУОС ТПУ (УК-1, УК-4, УК-5), критерий 5 АИОР (п. 1.1), требования профессионального стандарта 06.014 (ПК-1).
Р2	Разрабатывать оригинальные алгоритмы и программные средства, в том числе с использованием современных интеллектуальных технологий, для решения профессиональных задач.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-2), СУОС ТПУ (УК-1), критерий 5 АИОР (п. 1.1, п. 1.2), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов 06.015 (ПК-2), 06.016 (ПК-3), 06.041 (ПК-11).
Р3	Демонстрировать культуру мышления, способность выстраивать логику рассуждений и высказываний, основанных на интерпретации данных, интегрированных из разных областей науки и техники, выносить суждения на основании неполных данных, анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-3), СУОС ТПУ (УК-1, УК-6), критерий 5 АИОР (п. 1.2), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 01.004 (ПК-12, ПК-13, ПК-14).
Р4	Демонстрировать способность к практическому использованию полученных новых знаний, новых научных принципов и новых методов исследований.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-3, ОПК-4), СУОС ТПУ (УК-4, УК-6), критерий 5 АИОР (п. 1.6, п. 2.2,2.6.), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов 06.027 (ПК-7), 06.036 (ПК-8), 06.037 (ПК-9), 06.040 (ПК-10).

P5	Разрабатывать и модернизировать программное и аппаратное обеспечение информационных и автоматизированных систем, адаптировать зарубежные комплексы обработки информации и информационно-коммуникационные системы к нуждам отечественных предприятий.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-5, ОПК-6, ОПК-7), СУОС ТПУ (УК-2, УК-3, УК-6), критерий 5 АИОР (п. 2.1, п. 2.3, п. 1.5), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов 06.015 (ПК-2), 06.026 (ПК-6).
P6	Осуществлять эффективное управление разработкой программных средств и проектов, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-8), СУОС ТПУ (УК-2), требования профессиональных стандартов 06.017 (ПК-4), 06.022 (ПК-5).
P7	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения, эксплуатации и модернизации программно-аппаратного обеспечения информационно-телекоммуникационных систем на всех этапах жизненного цикла.	Требования СУОС ТПУ (УК-2, УК-3, УК-4), критерий 5 АИОР (п. 1.5), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования профессиональных стандартов 06.026 (ПК-6), 06.036 (ПК-8), 06.037 (ПК-9).
P8	Критически анализировать современные проблемы информатики и вычислительной техники, ставить задачи и разрабатывать программу исследования в индустрии новых информационных технологий, выбирать соответствующие методы решения экспериментальных и теоретических задач, критерии эффективности и ограничения их применимости, прогнозировать тенденции научно-технического развития.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-3), СУОС ТПУ (УК-1), требования профессионального стандарта 01.036 (ПК-8).
P9	Способность к профессиональной коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности на основе истории и философии нововведений, математических методов и моделей для управления разработкой программных средств и проектов; способность руководить коллективом в сфере профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия; способность публично выступать и отстаивать свою точку зрения.	Требования ФГОС 3++ ВО (ОПК-1), СУОС ТПУ (УК-5, УК-6), требования профессионального стандарта 01.004 (ПК-12, ПК-14).

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»
Отделение школы (НОЦ) – Отделение информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ВМ82	Феклину Семену Федоровичу

Тема работы:

Исследование алгоритмов фильтрации при обработке зашумленных сигналов
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Оцифрованный поток метеорологических данных с присутствием выраженных пульсаций или шумовой помехой.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none">– Обзор литературных источников.– Сравнительный анализ фильтрации временных рядов на примере данных с метеорологического комплекса АМК-03.– Анализ полученных результатов.– Социальная ответственность.– Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.– Заключение.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>		
Раздел	Консультант	
Социальная ответственность	Горбенко М. В.	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский В.Ю.	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Введение, преобразование Фурье и спектральный анализ, ряд и интеграл Фурье, сигналы, оконное преобразование Фурье, частотная фильтрация.		

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ботыгин И. А.	к. техн. наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8BM82	Феклин С. Ф.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8BM82	Феклину Семену Федоровичу

Школа	Информационных технологий и робототехники	Отделение школы (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Информатика и вычислительная техника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	—
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Действующие ставки единого социального налога и НДС, ставка дисконтирования = 4%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Дать характеристику существующих и потенциальных потребителей (покупателей) результатов ВКР, ожидаемых масштабов их использования
2. Разработка устава научно-технического проекта	Разработать проект такого устава в случае, если для реализации результатов ВКР необходимо создание отдельной организации или отдельного структурного подразделения внутри существующей организации
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет цены результата ВКР.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка экономической эффективности использования результатов ВКР, характеристика других видов эффекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. «Портрет» потребителя результатов НТИ 2. Сегментирование рынка 3. Оценка конкурентоспособности технических решений 4. Диаграмма FAST 5. Матрица SWOT 6. График проведения и бюджет НТИ - <u>выполнить</u> 7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ - <u>выполнить</u> 8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В. Ю.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8BM82	Феклин С. Ф.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 8ВМ82	ФИО Феклину Семену Федоровичу
-----------------	----------------------------------

Школа	Информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Информатика и вычислительная техника

Тема ВКР:

Исследование алгоритмов фильтрации при обработке зашумленных сигналов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования являются алгоритмы частотной фильтрации
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	К работе допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие противопоказаний по здоровью, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Рациональная планировка рабочей зоны, требования к основным элементам рабочего места: рабочий стол, рабочий стул.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Рабочий процесс проводится в специализированном помещении, где могут быть такие вредные факторы как: отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность рабочей зоны. В ходе выполнения работы возможно поражение электрическим током.
3. Экологическая безопасность:	Во время проведения исследования и по его окончании не существуют источников загрязнения окружающей среды.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможно возникновение пожара.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Горбенко М. В.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ82	Феклин С. Ф.		

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»
Уровень образования – Магистратура
Отделение школы (НОЦ) – Отделение информационных технологий
Период выполнения – осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года

Форма представления работы:

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2019	Аналитический обзор литературы	15
01.09.2019	Анализ эффективности применения фильтров с конечной импульсной характеристикой для обработки временных рядов различной степени зашумленности	15
30.12.2019	Исследование основных характеристик фильтров с бесконечной импульсной характеристикой	15
01.04.2020	Обработка коэффициентов аппроксимации и детализации в ходе вейвлет-фильтрации. Сравнительный анализ полученных результатов	20
01.05.2020	Социальная ответственность	15
01.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
01.05.2020	Заключение	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ботыгин И. А.	к. техн. наук		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ботыгин И. А.	к. техн. наук		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 105 страниц, 36 рисунков, 12 таблиц, 24 использованных источника, 3 приложения.

Ключевые слова: цифровой сигнал, фильтрация, метод фильтрации, вейвлет-преобразование.

Объектом исследования являются: цифровые методы обработки данных.

Цель работы: разработка оптимальных алгоритмов фильтрации.

В результате исследования: на основе показаний регистраторов системы климатического мониторинга ИМКЭС СО РАН, проведён анализ фильтрации при подавлении аддитивных и мультипликативных помех. Представлены результаты исследования по фильтрации помех в измерительных каналах с использованием основных алгоритмов частотной фильтрации. Исследование проводилось с позиции подавления высокочастотных случайных помех. Для проведения программных экспериментов, с целью сравнительного анализа алгоритмов фильтрации, использовался язык программирования Python. Для реализации основных алгоритмов фильтрации в работе задействована библиотека `scipy` с набором пакетов для проведения спектрального анализа. Интерпретация временных и амплитудно-частотных характеристик выполнена с использованием библиотеки `pygraph`. В качестве регистраторов параметров приземной атмосферы использовались ультразвуковые метеостанции с полигона ИМКЭС СО РАН.

Сравнение результатов подавления высокочастотных случайных помех, а также расчёт частотной погрешности, выполненных с использованием КИХ и БИХ-фильтрации, демонстрируют возможность выбора оптимального ряда методов частотной фильтрации с учётом допустимого уровня достоверности и точности полученных результатов.

Экономическая эффективность проделанной работы заключается в уменьшении размера информации в сетевых хранилищах данных.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

КИХ – фильтр с конечной импульсной характеристикой.

БИХ – фильтр с бесконечной импульсной характеристикой.

ФП – Фурье-преобразование.

ДФП, БФП – дискретное Фурье преобразование, быстрое Фурье преобразование.

ВП – вейвлет-преобразование.

ДВП, НВП – дискретное вейвлет-преобразование; непрерывное вейвлет-преобразование.

ЛАЧЧ, АЧХ– логарифмическая амплитудно-частотная характеристика; амплитудно-частотная характеристика.

ФЧХ – фаза-частотная характеристика

ВЗ – временная запаздывания.

КСО – Корпоративная социальная ответственность.

ЗП – заработная плата.

ПР – прибыль.

ПО — Программное обеспечение.

РФ — Российская Федерация.

ГОСТ — Государственный стандарт.

СНиП – Строительные нормы и правила.

СН – строительные нормы.

СП – строительные правила.

КЗ – коэффициент запаса.

СанПиН – Санитарные правила, нормы, правила и нормы, гигиенические норматив

Оглавление

Введение.....	13
Глава 1 Исследование и анализ методов фильтрация на базе преобразования Фурье	14
1.1 Ряд и интеграл Фурье.....	14
1.2 Сигналы.....	17
1.3 Оконное преобразование Фурье	18
1.3.1 Частотная фильтрация	19
Глава 2 Исследование и анализ методов построения фильтров с конечной импульсной характеристикой	24
2.1 Влияние боковых лепестков спектра окон на погрешности обработки....	24
2.2 Дискретизация спектра весовой функции	25
2.3 Получение основных характеристик оконных функций	27
2.4 Сравнительный анализ оконной фильтрации	31
Глава 3 Исследование и анализ методов построения фильтров с бесконечной импульсной характеристикой	33
3.1 Типы БИХ-фильтров.....	33
3.1.1 Фильтр Баттерворта	34
3.1.2 Фильтр Бесселя.....	34
3.1.3 Фильтр Чебышёва	35
3.1.4 Эллиптический фильтр.....	36
3.2 Сравнительный анализ БИХ-фильтрации	37
3.2.1 Сравнение амплитудно-частотных характеристик.....	37
3.2.2 Сравнение характеристик группового времени запаздывания	39
Глава 4 Исследование и анализ методов фильтрация на базе вейвлет-преобразования.....	42
4.1 Дискретное вейвлет преобразование	43
4.2 Непрерывное вейвлет-преобразования.....	44
4.3 Вейвлет фильтрация.....	44
4.3.1 Спектральный анализ вейвлет-функций.....	51
4.4 Применение вейвлет-анализа для обработки временных рядов метеорологических данных.....	52
Заключение	55
Глава 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	57

5.1 Организация и планирование работ	57
5.1.1 Продолжительность этапов работ	58
5.2 Расчёт сметы затрат на выполнение проекта	62
5.2.1 Расчёт затрат на материалы	62
5.2.2 Расчёт заработной платы	63
5.2.3 Расчёт затрат на социальный налог	64
5.2.4 Расчёт затрат на электричество	64
5.2.5 Расчёт амортизационных расходов	65
5.2.6 Расчёт расходов, учитываемых непосредственно на основе платёжных (расчётных) документов (кроме суточных).....	66
5.2.7 Расчёт прочих расходов.....	67
5.2.8 Расчёт общей себестоимости разработки	67
5.2.9 Расчёт прибыли	67
5.2.10 Расчёт НДС	68
5.2.11 Цена разработки НИР	69
5.3 Оценка экономической эффективности проекта	69
5.3.1 Определение срока окупаемости инвестиций.....	70
Глава 6 Социальная ответственность.....	73
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	74
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	75
6.2 Производственная безопасность	77
6.2.1 Температура поверхности оборудования	78
6.2.2 Температура окружающей среды	79
6.2.3 Влажность воздуха	80
6.2.4 Искусственное освещение	81
6.2.5 Возникновение пожара	84
6.3 Экологическая безопасность.....	85
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	85
Вывод.....	87
Приложение А	90
Приложение Б	93
Приложение В.....	94

Введение

Повседневное использование цифровой техники в различных системах наблюдения и мониторинга, зачастую, связано с получением и обработкой больших объёмов данных. Функционирование технических систем при возникновении любой деградации нередко приводит к неисправным или неработоспособным состояниям, и, как следствие, к нестабильности выполнения требуемых задач. Одной из проблем неисправной работы оборудования является возникновение флуктуаций в выходном потоке данных, что обуславливается наложением на полезный сигнал аддитивных, либо мультипликативных помех. Одним из подходов повышения достоверности измерений является использование различных алгоритмов фильтрация [1, 2]. Если частотные спектры сигнала и помехи различаются, то с применением частотных фильтров можно добиться существенного повышения отношения сигнал/помеха.

При применении традиционного анализа Фурье на практике появляется возможность продемонстрировать поведение сигнала в его частотной области, но при этом возникает вопрос о локализации во времени различных компонентов сигнала. Сегодня известно множество различных подходов и алгоритмов, модифицирующих Фурье преобразование. Данные методы основываются на оконном преобразовании, в ходе которого устраняется указанный выше недостаток. Кроме Фурье преобразования для обработки сигналов используется вейвлет обработка. Вейвлет-методы эффективно дополняют обработку, и способны полностью заменить использование традиционных методов. Результаты вейвлет-преобразования, всегда имеют высокую информативность и обеспечивают возможность обработать такие особенности данных, которые бывает затруднительно анализировать в ходе выполнения Фурье-анализа [7, 12].

Возможности, которые демонстрируют новые подходы и методы по обработке сигналов различной степени сложности, широко описаны в литературе И. Добеши [5] и К. Чуи [20].

Глава 1 Исследование и анализ методов фильтрация на базе преобразования Фурье

Спектром совокупности данных называют совокупность синусоидальных волн, которые комбинируясь между собой дают исходный сигнал во временной области. Сам по себе спектр дискретен, то есть он равен сумме гармоник, частоты которых отличаются на частоту первой гармоники $\omega_1 = 2\pi/T$. В качестве примера получения спектра сигнала можно привести разложение Фурье, вейвлет-преобразование, спектр мощности,.

Преобразование Фурье – это математическая операция, которая позволяет преобразовать функцию от времени в частотные компоненты, путём представления этой функции или набора данных в виде комбинации тригонометрических функций, таких как синус и косинус. Другими словами преобразование Фурье (ПФ) позволяет представить любую периодическую функцию суммой отдельных гармонических составляющих, где в качестве таковых выступают синусы и косинусы с различными амплитудами (A), периодами (T) и частотами (ω).

1.1 Ряд и интеграл Фурье

Разложение функций для получения ряда и интеграла Фурье лежит в основе линейных и нелинейных сигналов.

Рядом Фурье называют тригонометрический ряд, представляющий собой изображение периодической суммы синусоид, с конечными амплитудами. Ряд Фурье имеет бесконечное число членов, но при численном счёте число членов этого ряда всегда остаётся конечным и равно числу значений функции.

Пусть функция $f(x)$, интегрируема на отрезке $[-\pi, \pi]$. Разложим её в ряд Фурье:

$$f(x) = \sum_k [a_k \cos(kx) + b_k \sin(kx)] \quad (1.1)$$

где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$;

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(kx) dx; \quad b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(kx) dx - \text{коэффициенты}$$

Фурье.

Так выглядит классическое представление для ряда Фурье. Такой ряд для удобства можно записать в комплексной форме воспользовавшись формулой Эйлера:

$$e^{ikx} = \cos kx + i \sin kx, \quad e^{-ikx} = \cos kx - i \sin kx \quad (1.2)$$

Из формулы (1.2) получим, что:

$$\cos kx = \frac{1}{2} (e^{ikx} + e^{-ikx}), \quad \sin kx = \frac{1}{2i} (e^{ikx} - e^{-ikx}) \quad (1.3)$$

Подставив эти выражения в ряд Фурье (1.1) и, сделав дополнительные преобразования, получим представление ряда Фурье в комплексной форме при $T = 2\pi$ (1.4).

$$f(x) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_k e^{ikx} \quad (1.4)$$

где $C_k = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) e^{-ikx} dx$.

В случае, когда функция $f(x)$ задана на всей числовой прямой, т. е. не является периодической, её можно разложить в интеграл Фурье. Интеграл Фурье получается при предельном переходе от ряда Фурье, когда период T_k стремится к бесконечности (1.5). Формула для интеграла Фурье выводится из формулы для ряда Фурье (1.6). Под интегралом Фурье следует принимать тригонометрическую последовательность или ряд, которые представляет собой непериодическую функцию суммой бесконечно большого числа синусоид. Амплитуды таких синусоид бесконечно малы, а аргументы соседних синусоид отличаются на бесконечно малые значения.

$$q(k) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(x) \cdot \exp(-ikx) dx \quad (1.5)$$

$$F(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(k) \exp(ikx) dk \quad (1.6)$$

Математический смысл преобразования Фурье заключается в представлении исходного сигнала $y(x)$ в виде бесконечной суммы синусоид вида $F(\omega) \cdot \sin(\omega x)$. Функция $F(\omega)$ есть преобразование Фурье или Фурье спектр сигнала. При обратном преобразовании Фурье происходит перевод спектра $F(\omega)$ в исходный сигнал $y(x)$.

На практике при обработке непрерывных сигналов используется их цифровое представление, следовательно, интеграл заменяется на сумму размером с длительность сигнала, которая равна числу взятых его отсчётов N . Преобразование Фурье для цифровых отсчётов сигнала называется дискретным преобразованием Фурье и записывается следующим образом:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) e^{-\frac{2\pi i}{N} kn} = \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \cdot W^{-nk} \quad (1.7)$$

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{\frac{2\pi i}{N} kn} = \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \cdot W^{nk} \quad (1.8)$$

где N – количество компонент разложения, число измеренных за период значений сигнала;

n – номер отсчета дискретизированного сигнала, $n = 0, 1, \dots, N - 1$;

k – номер гармоники компонента преобразования;

T – период времени, в течение которого брались входные данные;

$W = e^{-\frac{2\pi i}{N}}$ – поворотный множитель.

Вычисление преобразования Фурье по своей стандартной формуле предполагает выполнение большого числа операций сложения умножения. Для сокращения времени вычисления дискретного преобразования Фурье применяется быстрое преобразование Фурье (БПФ). Основная идея БПФ состоит в разбиении исходной N -мерной последовательности $x(n)$ при $n = 0, \dots, N$ на части. При этом для каждой части можно вычислить ДПФ отдельно, а затем просуммировать с остальными частями и в итоге получить исходное преобразование. Например, если длина периодической последовательности

равна N , тогда общая вычислительная сложность алгоритма ДПФ будет составлять N^2 умножений и сложений. Но если разделить исходную последовательность на две части по $N/2$ элементов в каждой, то для выполнения ДПФ по классической формуле на каждом этапе вычисления потребуется в два раза меньше операция сложения и умножения.

1.2 Сигналы

Сигналом называется физическая величина, параметры которой меняются в соответствии с передачей данных. По способу представления или информативности выделяют две группы сигналов – детерминированные и случайные.

Случайными называют сигналы, функция времени которых не известна заранее. Распространение таких сигналов во времени происходит согласно некоторой вероятности. К основным характеристикам таких сигналов относят их закон распределения (время пребывания сигнала в принятом диапазоне) и спектральное распределение мощности этого сигнала.

Детерминированные сигналы всегда должны быть описаны аналитической функцией. Поведение таких сигналов может быть полностью известно в любой момент времени. В свою очередь детерминированные сигналы делятся на периодические (повторяемые во времени) и непериодические.

По характеру своего представления сигналы подразделяются на дискретные, аналоговые, и цифровые.

Аналоговый сигнал – это такие сигналы, которые описываются непрерывной функцией времени (рис. 1.1). Такие сигналы обеспечивают передачу данных путём непрерывного изменения во времени, частоты, фазы или амплитуды. В основном вся информация, которая возникает в окружающей нас природе представлена в аналоговом виде. Для передачи подобной информации лучше всего подходит аналоговая форма сигнала, в связи с тем, что они являются непрерывными и определены в любой момент времени. Если рассматривать

аналоговые сигналы, то можно заметить, что таковые описываются непрерывным множеством, как в области значения, так и в области определения.

Для дискретного сигнала (рис. 1.1) свойственно прерывание сигнала во времени. То есть сигнал изменяется скачкообразно, через некоторые промежутки времени (интервал дискретизации). Процесс дискретизации аналоговых сигналов заключается, в их представлении в виде заданной последовательности значений, определённых в дискретные моменты времени (сэмплами).

При восстановлении аналогового сигнала из цифрового вида используется теорема Котельникова, благодаря которой переход от одной формы представления сигнала к другой происходит без искажений и потерь.

$$F_S = \frac{1}{T_S} > 2F_a \quad (1.9)$$

где F_S – частота дискретизации сигнала;

F_a – верхняя частота спектра аналогового сигнала.

Цифровые сигналы получаются из аналоговых при использовании операции дискретизации и квантования по уровню.

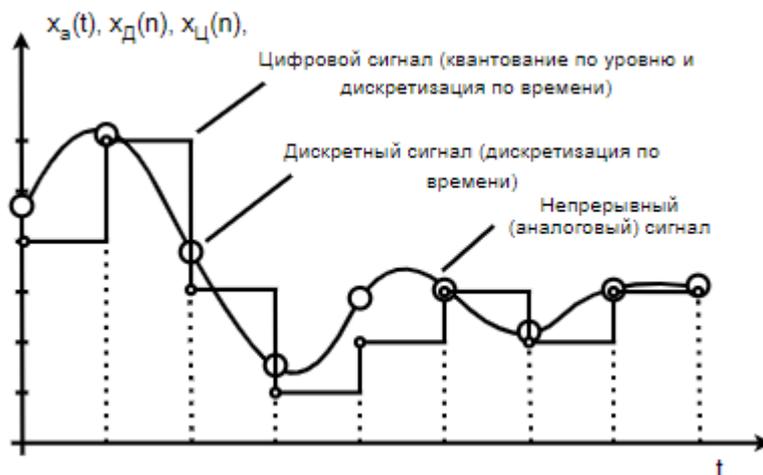


Рисунок 1.1 – Аналоговый, дискретный и цифровой сигналы.

1.3 Оконное преобразование Фурье

Как и сигналы фильтры по форме обработки сигналов подразделяются на аналоговые и цифровые. Аналоговая фильтрация имеет место при обработке

непрерывных сигналов, такими как: напряжение, механическое движение или звук. В задачах цифровой обработки сигналов данные проходят через цифровые устройства с цифровой фильтрацией. Цифровые фильтры используются в основном для повышения качества сигнала – для выделения полезного сигнала, подавления присутствующих в нём флуктуаций, а также избавления от аддитивных, либо мультипликативных помех.

В зависимости от типа применяемого алгоритма фильтрация классифицируется на следующие методы:

1. Частотная фильтрация.
2. Пространственная фильтрация
3. Вейвлет-фильтрация

1.3.1 Частотная фильтрация

Частотная фильтрация. Частота сигнала напрямую зависит от скорости изменения сигнала, отсюда становится очевидным, что частоты, получаемые в ходе Фурье преобразования, связаны с амплитудными значениями сигнала. Наиболее медленно меняющиеся значения частот, точки которых располагаются вблизи начала координат Фурье-преобразования, определяют медленно меняющиеся значения амплитудной характеристики исследуемого ряда. При удалении от начала координат, более высокие частоты начинают соответствовать более интенсивным и резким изменениям амплитудной характеристики сигнала.

Весь процесс частотной фильтрации можно представить в виде последовательности следующих шагов:

1. дополнение нулями исходного сигнала и импульсной характеристики;
2. вычисление прямого ДПФ;
3. перемножение результатов ДПФ
4. вычисление обратного ДПФ.

В качестве примера на рисунке 1.2 представлен алгоритм применения частотной фильтрации нерекурсивного фильтра для набора отсчётов сигнала $x(k)$ длиной N_x с использованием импульсной характеристики фильтра $h(k)$ длиной N_h . Для того, чтобы получить выходной сигнал необходимо вычислить линейную свёртку входного сигнала $x(k)$ с импульсной характеристикой фильтра $h(k)$. На шаге 1 обе последовательности дополняются нулями до длины, как минимум $N_x + N_h - 1$. Далее (шаг 2) следует переход к вычислению прямого дискретного преобразования Фурье (ДПФ) для двух последовательностей. Согласно свойству ДПФ произведение спектров соответствует циклической свёртке временных последовательностей. Исходя из этого свойства на шаге 3 выполняется перемножение результатов ДПФ рассматриваемых рядов, а затем выполняется обратное дискретное преобразование Фурье (ОДПФ). В результате получается набор отсчётов $y(k)$ длиной $N_x + N_h - 1$ (шаг 4), который является результатом расчёта линейной свёртки последовательностей $x(k)$ и $h(k)$.

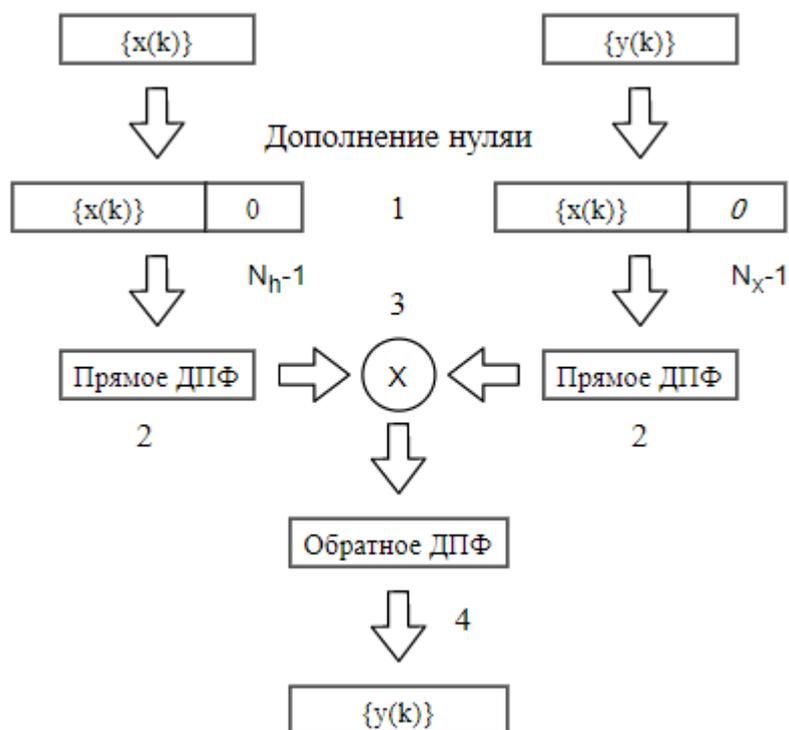


Рисунок 1.2 – Алгоритм применения частотной фильтрации нерекурсивного фильтра.

К основным характеристикам частотного фильтра относят следующие характеристики:

1. Частота среза фильтра. Частота ослабления сигнала на которой достигает -3 дБ по логарифмической шкале.

2. Неравномерность в полосе частот пропускания, АЧХ. Неравномерность АЧХ характеризует её степень отклонения от прямой, параллельной оси частот. Неравномерность АЧХ выражается в децибелах. В ходе ослабления выраженной неравномерности АЧХ может сохраняться первоначальная форма передаваемого сигнала.

3. Групповая задержка фильтра. Подобная временная задержка характерна при использовании БИХ-фильтров. Задержка напрямую связана со сдвигом фазы сигнала на выходе относительно сигнала на входе. Групповая задержка при этом характеризует изменение временного сдвига сигнала, который возникает в результате фазового сдвига.

4. Рабочий диапазон сигнала в полосе пропускания. Диапазон частот, в пределах частот эффективного спектра сигнала, в котором сосредоточено 90% энергии сигнала

5. Рабочий диапазон сигнала в полосе подавления. Диапазон частот, лежащий за границами частот эффективности.

Частотные фильтры различаются по типу "отрезания" ненужных частот. Различают следующие типы частотной фильтрации:

1. Фильтры низких частот (ФНЧ). Такие фильтры пропускают частотный спектр сигнала ниже частоты среза фильтра и подавляют частоты сигнала выше этой частоты (рис. 1.3). Частоты, которые входят в диапазон от нуля до частоты среза фильтра располагаются в полосе пропускания, частоты, которые находятся справа от частоты среза фильтра располагаются в полосе подавления. ФНЧ применяется, когда необходимо прийти к подавлению высокочастотных составляющих сигнала для выделения зашумленного сигнала. Результатом фильтрации становится подавление сигнала с большими скоростями нарастания. ФНЧ могут быть как аналоговыми, так и цифровыми.

2. Фильтры высоких частот (ФВЧ). Фильтры пропускают частотный спектр сигнала выше частоты среза фильтра и подавляют частоты сигнала ниже этой частоты (рис. 1.4). Подобные фильтры используются для выделения высоких частот при обработке аудио сигналов, например, в кроссоверах. Также фильтр широко используется при устранении постоянной составляющей сигнала, для чего частоту среза выбирают очень низкой. При включении фильтра высоких и низких частот последовательно получается полосовой фильтр.

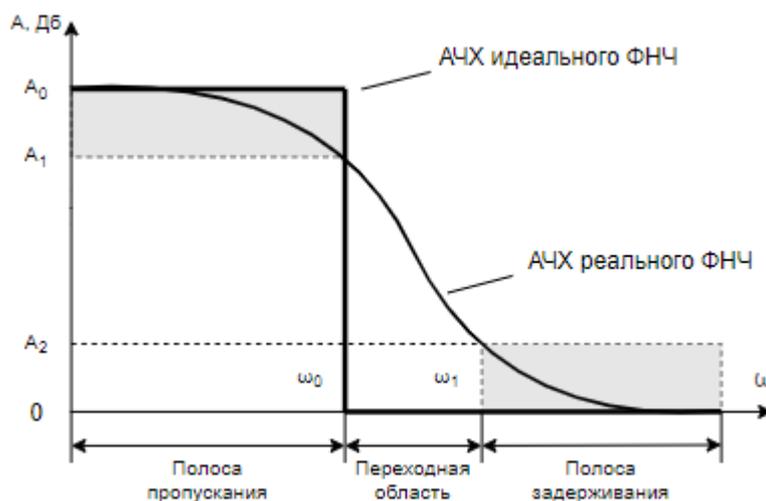


Рисунок 1.3 – Идеальная и реальная АЧХ фильтра низких частот.

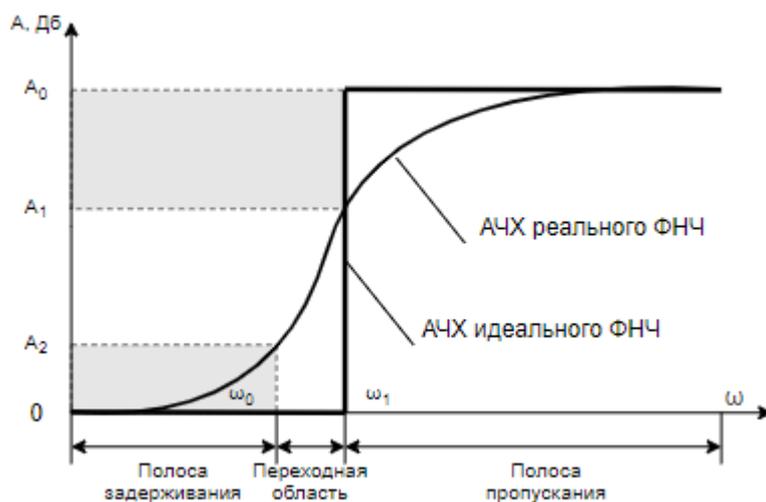


Рисунок 1.4 – Идеальная и реальная АЧХ фильтра высоких частот.

3. Полосовые фильтры (ПФ). Такие фильтры пропускают составляющие, находящиеся в некоторой полосе частот (рис. 1.5). Полосовой фильтр

характеризуется нижней и верхней частотой среза. Полосовой фильтр характеризуется шириной полосы пропускания, которая располагается вокруг центральной частоты пропускания.

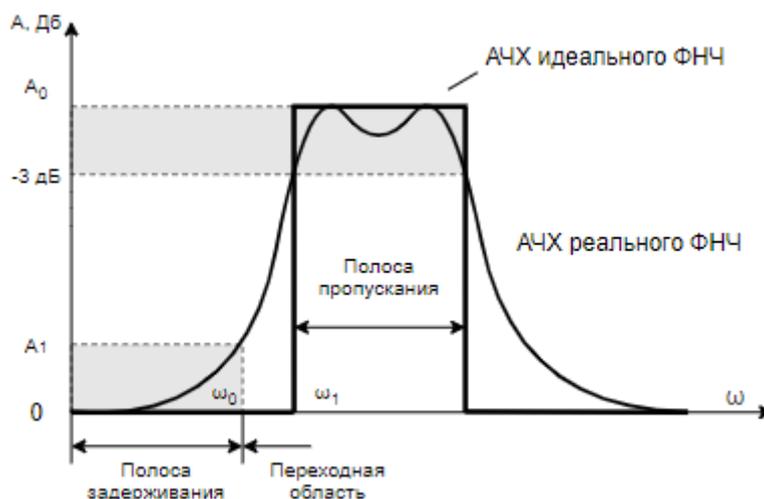


Рисунок 1.5 – Идеальная и реальная АЧХ полосового фильтра.

4. Режекторные фильтры (РФ). Фильтр, который не пропускает колебания некоторой определённой полос частот, но пропускает диапазон частот, которые лежат за пределами полосы заграждения (рис. **Рисунок 6.2**).

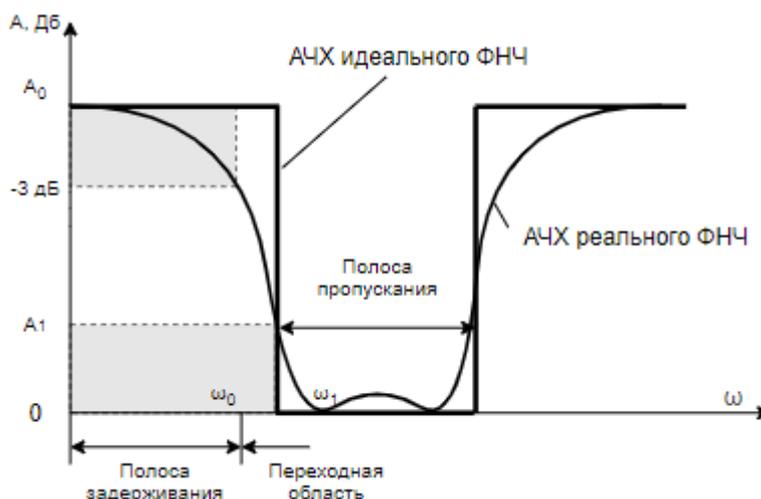


Рисунок 1.6 – Идеальная и реальная АЧХ полосового фильтра.

Полоса подавления заграждающего фильтра, характеризуется шириной полосы подавления одной определённой частоты и расположена вокруг центральной частоты подавления f_0 .

Глава 2 Исследование и анализ методов построения фильтров с конечной импульсной характеристикой

2.1 Влияние боковых лепестков спектра окон на погрешности обработки

Для КИХ-фильтра возможно организовать передачу сигнала путём достижения линейной фазовой характеристики. Коэффициенты фильтра должны выбираться таким образом, чтобы импульсная характеристика фильтра была желаемой. Однако для физических систем используется бесконечная импульсная характеристика, что не позволяет так просто решить задачу, связанную с проектированием фильтра. Для того, чтобы не проектировать нереализуемый фильтр, его импульсную характеристику «обрезают», путём умножения импульсной характеристики фильтра на окно (рис. 2.1). Обычно в качестве такого принимается прямоугольное окно.

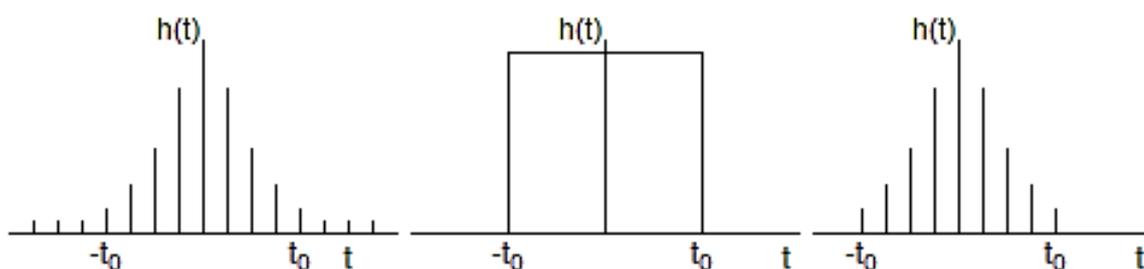


Рисунок 2.1 – Результат свёртки прямоугольного окна и импульсной характеристики весовой функции.

Нерекурсивная оконная фильтрация строится на основе свёртки импульсной характеристики идеализированного фильтра со спектром окна. Процедура синтеза оконным методом включает в себя следующие шаги:

- расчёт бесконечной импульсной характеристики идеального фильтра и определение полосы пропускания;
- умножение импульсной характеристики на спадающее к краям окно с целью преобразования её к импульсной характеристике конечного вида;
- сдвиг импульсной характеристики вправо, чтобы её не нулевые значения были только для не отрицательных номеров;

- свёртка полученной частотной характеристики с частотной характеристикой зашумленного сигнала.

Основная оценка оконных функции производится по их форме и амплитудно-частотной характеристике. Главный лепесток спектра оконной функции фильтра всегда соответствует высокому уровню амплитуды (полоса пропускания), низкий уровень амплитуды, называемый боковыми лепестками, характеризует высокочастотные составляющие для ФНЧ (полосу подавления). Между боковыми лепестками и главным лепестком существует переходная область. Чем меньше будет переходная область, тем лучше будут отрезаться ненужные частоты при наложении фильтра, но наряду с этим увеличивается порядок фильтра (длительность импульсной характеристики). Увеличение порядка фильтра неизбежно ведёт к возрастанию арифметических операций над отсчётами и как следствие возрастанию нагрузки на аппаратные ресурсы.

2.2 Дискретизация спектра весовой функции

Если рассмотреть общий алгоритм ДПФ, на примере сигнала в N отсчётов, то в ходе выполнении ДПФ рассматриваемому спектру сигналу ставится в соответствие N отсчётов спектра оконного фильтра. При взятии отсчётов основного сигнала сохраняются равные промежутки времени с выбранной частотой дискретизации рассматриваемого сигнала. Спектральные отсчёты выбираются согласно интервалу равному $\Delta\omega_0$, который зависит от ширины рассматриваемого окна.

В результате в ходе выполнения процедуры по дискретизации спектра импульсной характеристики следует разобрать две возможных ситуации. Первая, когда частота спектра текущей импульсной характеристики совпадёт с k -й частотой спектра основного сигнала. В ходе дискретизации такого спектра получим отсчёт на частоте относящуюся к высокому уровню амплитуды сигнала, остальные спектральные отсчёты в этом случае станут равны нулю в связи с тем, что их моменты дискретизации спектра окажутся в нулевых точках спектра

оконной функции. Во втором случае, когда частота спектра функции фильтра после дискретизации не совпадает ни с одной частотой спектра основного сигнала (рис. 2.2). Несовпадение частот спектров сигналов приводит к «размытию» спектра фильтрующей функции. В результате вместо одного ожидаемого спектрального отсчёта получаем их множество, так как нарушение совпадения частот сдвигает дискретизацию, и она проводится уже не в нулях спектра функции.

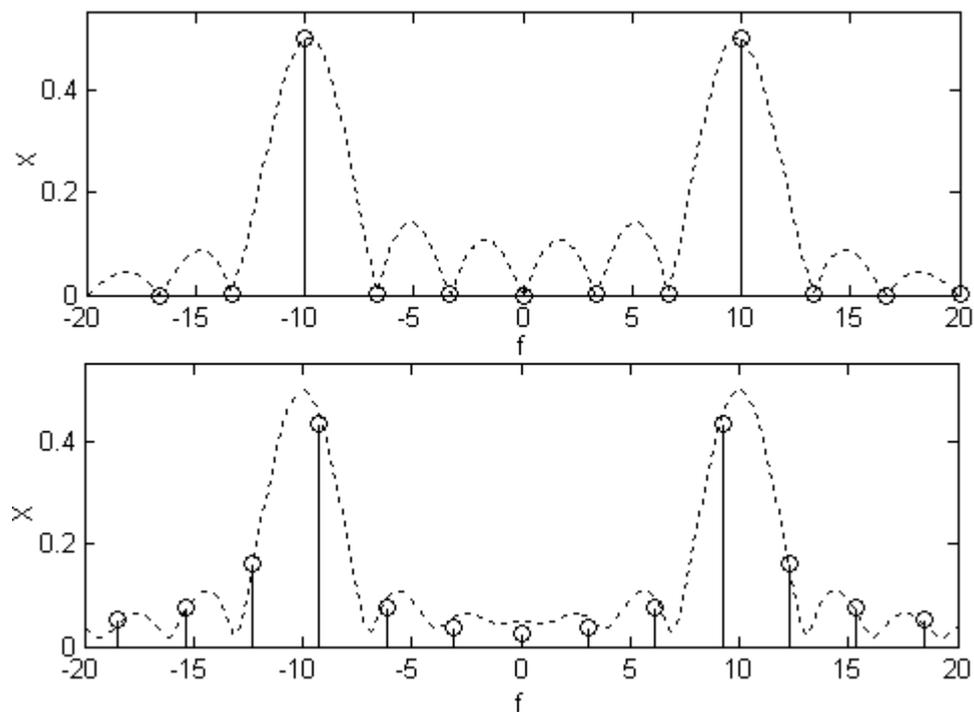


Рисунок 2.2 – «размытие» спектра весовой функции.

Как следствие в результате возникновения «размытия» получаем спектр оконной функции с выраженным проявлением боковых лепестков. Уровень боковых лепестков в таком случае уровень может достигать до двадцати процентов относительно основного лепестка. Из-за появления боковых лепестков в спектре после дискретизации оконной функции, в разы ухудшается её переходная характеристика, что в первую очередь обуславливается плавным переходом спектра от полосы пропускания к полосе подавления. Отсюда можно сделать вывод о том, что совпадение спектральных частот анализируемого сигнала со спектральной сеткой частот функции фильтрующего окна будет достигаться только в том случае, если на всём интервале взятия сигнала

уложится целое число периодов повторения сигнала. В противном случае спектр «размоется».

В результате процесса расширения переходных характеристик оконных фильтров их спектр своими боковыми лепестками способен замаскировать сигнал более слабой формы. С целью обнаружить подобный слабый сигнал требуется избавиться от подобного наличия боковых лепестков, которые возникают в результате наложения на бесконечную импульсную характеристику фильтра прямоугольного окна. Чтобы достичь такого результата необходимо устранить эти лепестки в спектре самой оконной функции $w(t)$, то есть сделать её более гладкой (рис. 2.3).

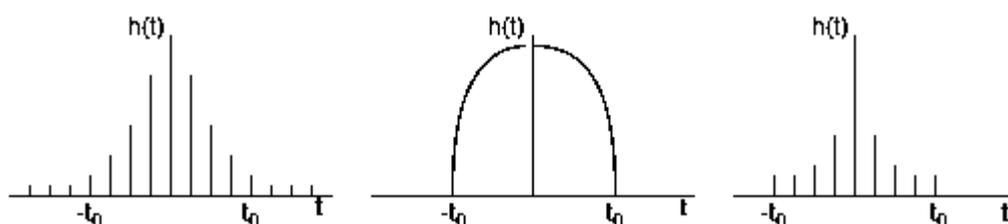


Рисунок 2.3 – Свёртка импульсной фильтра гладким окном.

2.3 Получение основных характеристик оконных функций

При использовании гладкой оконной функции в спектре понижается уровень боковых лепестков, но при этом увеличивается ширина основного лепестка. Следовательно, чем больше подавление боковых лепестков спектра оконной функции, тем шире получится его главный лепесток. Такое противоречие привело к появлению большого числа оконных функций с различной шириной главного окна и различающимся уровнем подавления боковых лепестков. К основным относят следующие окна: Хемминга, Блэкмана, Хеннинга, Кайзера, Бартлета, Треугольное и др.

Для оценки основных характеристик спектра фильтрующих оконных функций рассмотрим нормированную АЧХ оконной функции $W_h(F_h)$ представленную на рисунке 2.4.

Как уже было отмечено раньше, если рассматривать идеальный фильтр, то его АЧХ должна иметь предельно узкую полосу пропускания. Однако такой вариант невозможен, так как ограничивая во времени функцию мы получаем неограниченный по частоте спектр. Таким образом идеального окна не существует, но их качество возможно оценить, сравнив степень приближения окна к его идеальному представлению.

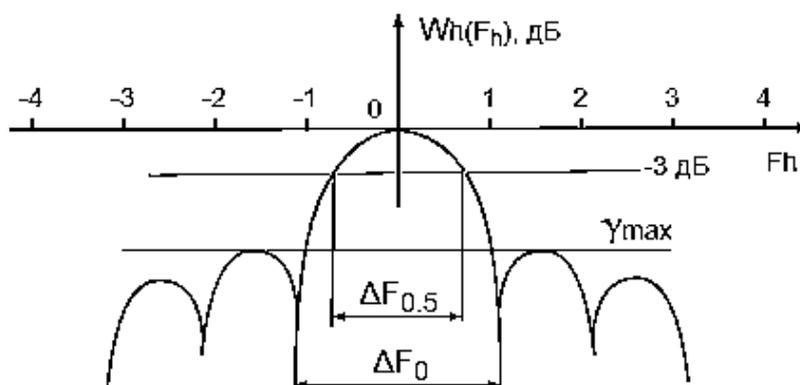


Рисунок 2.4 – Нормированная АЧХ оконной функции.

АЧХ оконной функции содержит следующие параметры:

$\Delta F_{0.5}$ – нормированная ширина главного лепестка по уровню -3 дБ;

ΔF_0 – нормированная ширина главного окна по нулевому уровню;

γ_{max} – максимальный уровень боковых лепестков.

Одной из наиболее важных характеристик реальной оконной функции является ширина главного лепестка АЧХ. Чем меньше будет ширина главного лепестка, тем лучше будет происходить фильтрация. В результате увеличения или уменьшения интервала взятия оконной функции её АЧХ меняет свой масштаб в n -е число раз. Следовательно, чтобы определить ширину главного лепестка, необходимо привести ширину главного лепестка к нормированному виду (F_{H0}), путём умножения ширины основного лепестка АЧХ на интервал функции окна:

$$F_{H0} = L \cdot F_{l0} \quad (2.1)$$

где L – длина окна (интервал);

F_{l0} – ширина главного лепестка при текущей длине окна (L).

Например, если потребуется разработать фильтр нижних частот с частотой среза f_c , то зная нормированную ширину главного лепестка можно определить длительность окна, при которой будет выполнено условие $f_c = F_0$:

$$L = \frac{F_{H0}}{f_c} \quad (2.2)$$

Также реальные окна характеризуются уровнем боковых лепестков h , который определяется отношением амплитуды наибольшего бокового лепестка к амплитуде основного лепестка.

Основные свойства и характеристики рассматриваемых оконных функций сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1– Свойства оконных функций.

Наименование	ΔF_{H0}	$\Delta F_{0.5}$	K	γ_{max} , ДБ
Прямоугольное окно	2	0,89	1	-13.0
Окно Хемминга	3.8	1,33	2	-42.7
Окно Блэкмана	5.6	1,6	3	-58.2
Окно Хеннинга (Ханна)	3.6	1,45	2	-31.5
Окно Кайзера ($\beta = 0$)	2.0	0,90	1	-18
Окно Бартлета	3.2	1,33	2	-26,6
Окно Блэкмана-Хэрриса	7.8	1,97	4	-90.1
Треугольное окно	4.0	1.33	2	-26.5
Окно Гаусса $\sigma = 6$	10.0	0.70	9	-120
Окно с плоской вершиной	10.0	2.6	5	-81
Окно Дольфа-Чебышёва ($\beta = 100$)	7.6	~	4	-100

По данным таблицы 2.1 на рисунке 2.5 представлен график зависимости ширины главного лепестка от уровня боковых лепестков спектров исследуемого ряда оконных функций.

Исходя из графика можно сделать вывод о том, что оптимальными окнами является окно Кайзера-Бесселя и Блэкмана-Хэрриса. Подобные окна

обеспечивают компромисс между частотной погрешностью и скоростью вычисления.

Окно Дольфа-Чебышёва обладает меньшей точностью по сравнению с двумя предыдущими, за счёт пониженного порядка. Если стремиться к повышению точности фильтрации при условии, что частота среза для всех окон будет одной и той же, то оптимальным является окно Дольфа-Чебышёва, так как при выбранной точности окно имеет самую низкую ширину и как следствие требует меньше вычислительных операций по сравнению с другими окнами в ходе выполнения ДПФ и свёртки.

При расположении высокими вычислительной мощности оборудования, целесообразно прибегнуть к применению Гауссового или плосковершинного, которые обеспечивают низкую погрешность фильтрации, при высоком порядке. АЧХ плосковершинного окна имеет максимальную плоскую вершину основного лепестка. Главным достоинством такого окна можно выделить низкую частотную погрешность.

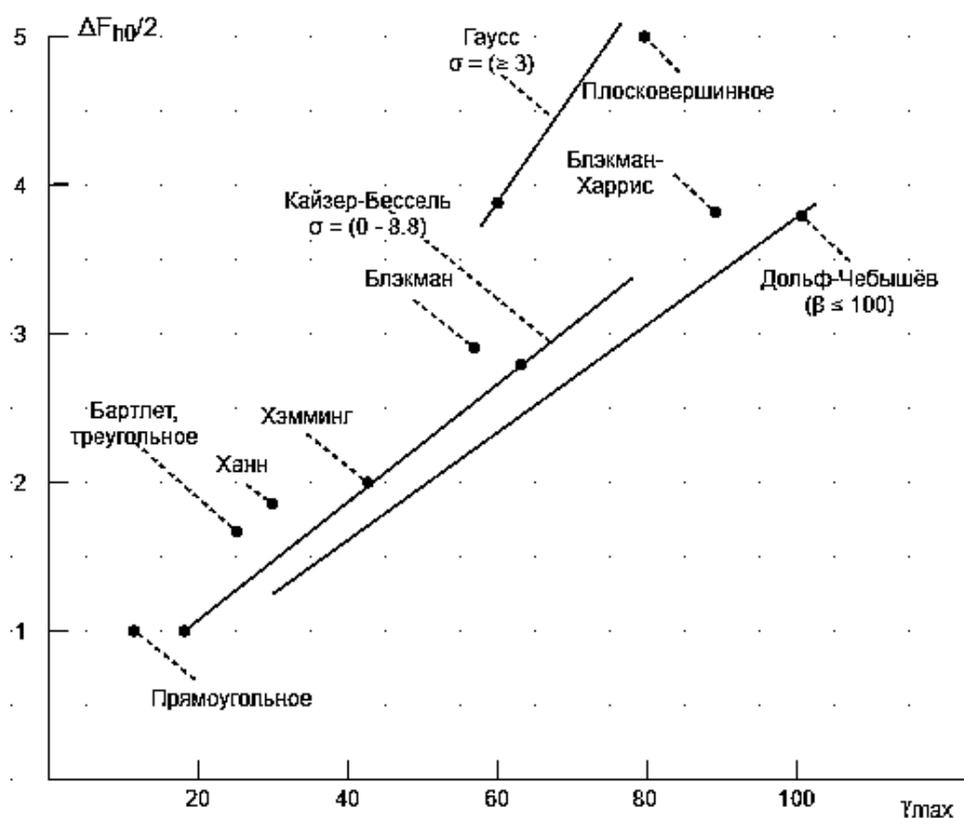


Рисунок 2.5 – Зависимость нормированной ширины главного лепестка F_{H0} АЧХ от уровня боковых лепестков γ_{max} весовой функции окна.

2.4 Сравнительный анализ оконной фильтрации

Сравним результаты фильтрации применения вестовых оконных функций Бартлета и Плосковершинного окна. Исходя из сравнительной характеристики оконных функций (рис. 2.5) можно сделать вывод о том, что окно Бартлета имеет узкую ширину нормированной частоты главного лепестка, при этом сохраняется высокий низкий уровень боковых лепестков. Для вычисления такого окна не потребуется больших затрат вычислительных мощностей, но вследствие этого окно имеет высокую частотную погрешность.

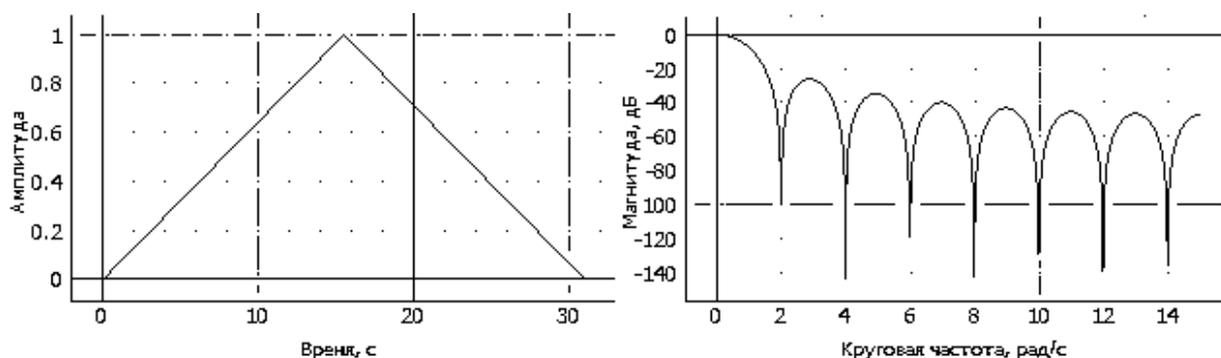


Рисунок 2.6 – Окно Бартлета.

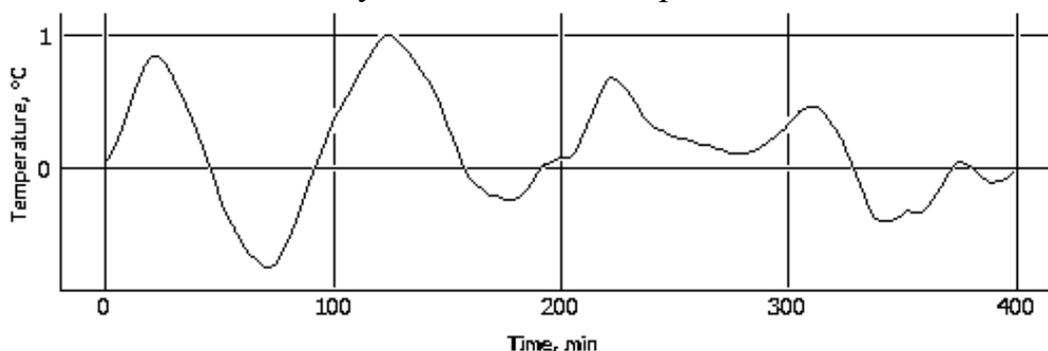


Рисунок 2.7 – Фильтрация окном Бартлета.

Плосковершинное окно имеет самую плоскую вершину главного лепестка среди всех остальных окон. Следовательно, переходная характеристика спектра такого окна имеет хорошую крутизну спада к боковым лепесткам. Для вычисления окна требует высоких затрат вычислительных мощностей, по сравнению с окном Бартлета, но благодаря этому у окна высокий уровень спада боковых лепестков.

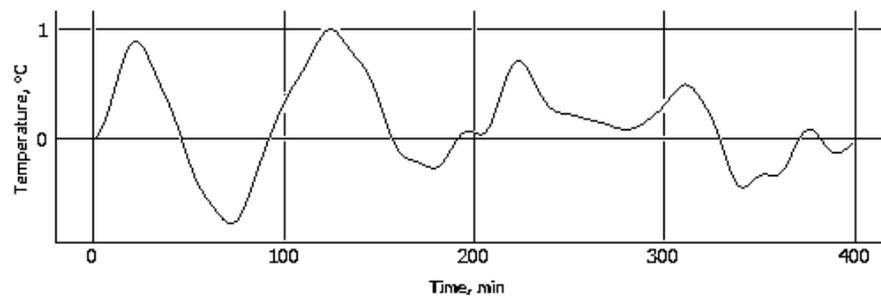


Рисунок 2.8 – Фильтрация плосковершинным окном.

Глава 3 Исследование и анализ методов построения фильтров с бесконечной импульсной характеристикой

БИХ-фильтр – это цифровой фильтр, который имеет бесконечную во времени импульсную характеристику. Такие фильтры также называют рекурсивными в связи с тем, что при проектировании в их цепи используются обратные связи. Наиболее известные БИХ-фильтры: фильтр Чебышёва, Баттерворта, Калмана, Бесселя и др.

Каждый БИХ фильтр описывается разностным уравнением вида:

$$y(n) = \sum_{i=0}^P b_i x(n-i) - \sum_{k=1}^Q a_k y(n-k) \quad (3.1)$$

где $y(n)$ – входной сигнал;

$x(n)$ – выходной сигнал;

b_i – коэффициенты входного сигнала;

a_k – коэффициенты обратной связи;

P, Q – порядки входной и обратной связи.

3.1 Типы БИХ-фильтров

Амплитудно-частотная характеристика $G(\omega)$ фильтра Баттерворта n -го порядка может быть получена из передаточной функции $H(s)$:

$$G^2(\omega) = |H(j\omega)|^2 = \frac{G_0^2}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}} \quad (3.2)$$

где n – порядок фильтра;

ω_c – частота среза (частота на которой амплитуда равна -3дБ);

G_0 – коэффициент усиления по постоянной составляющей.

3.1.1 Фильтр Баттерворта

АЧХ фильтра Баттерворта максимально гладкая в области частоты полосы пропускания и снижается по мере приближения к частотам полосы подавления. Такое поведение достигается ценой плавности характеристики в переходной области т.е. между полосами пропускания и задерживания.

Из 3.1 видно, что чем больше порядок фильтра (число полюсов), тем сильнее его ЛАЧХ приближается к прямоугольной функции, и частоты ниже частоты среза будут пропускаться с коэффициентом усиления G_0 , те частоты, что лежат выше будут полностью подавляться.

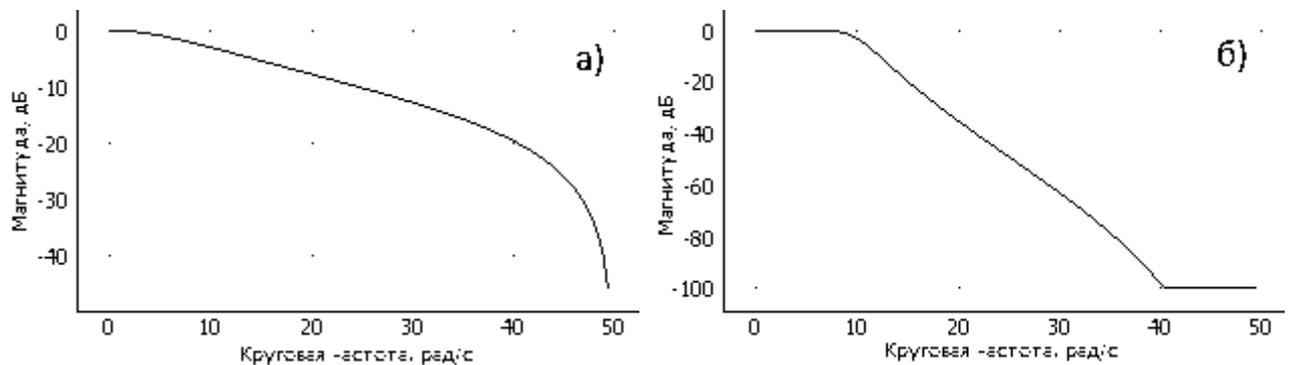


Рисунок 3.1 – ЛАЧХ фильтра Баттерворта нижних частот; а) первого порядка; б) пятого порядка.

3.1.2 Фильтр Бесселя

Фильтр Бесселя имеет максимально плоскую групповую задержку и максимально линейную фазовую характеристику (рис. 3.2).

Амплитудно-частотная характеристика фильтра Бесселя n -го порядка задаётся следующей передаточной функцией:

$$H(s) = \frac{\theta_n(0)}{\theta_n(s/\omega_0)} \quad (3.3)$$

где $\theta_n(s)$ – обратный многочлен Бесселя;

ω_0 – частота среза.

Фильтр Бесселя имеет наименьшую крутизну частотной характеристики (ещё более пологую чем у Баттерворта), в то же время он не имеет пульсаций АЧХ ни в полосе пропускания, ни в полосе подавления.

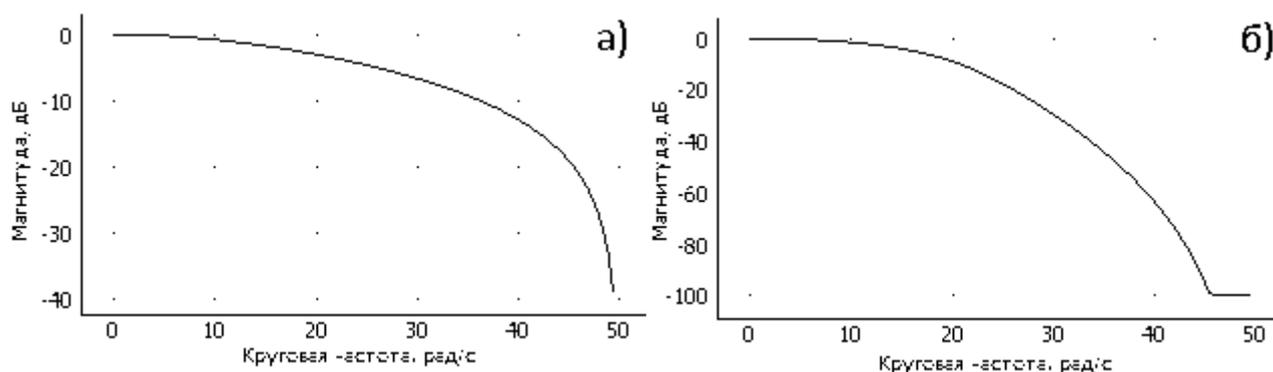


Рисунок 3.2 – ЛАЧХ фильтра Бесселя нижних частот; а) первого порядка; б) пятого порядка.

3.1.3 Фильтр Чебышёва

При том же порядке многочленов фильтров большую крутизну обеспечивают фильтры Чебышева (рис. 3.3, а), однако при этом в полосе пропускания у фильтров Чебышева появляются равно волновые пульсации. В большинстве случаев при выборе типа фильтра самым существенным обстоятельством является показатель неравномерности его характеристики в полосе пропускания, которая не должна превышать установленный порог, часто он составляет 1 дБ.

Фильтр Чебышева (рис. 3.3, б) отвечает этому требованию, при этом допускается некоторая неравномерность характеристики во всей полосе пропускания находящаяся в пределах 1 дБ, но при этом сильно увеличивается острота ее излома. Для фильтра Чебышева задают порядок и неравномерность в полосе пропускания. Допуская увеличение неравномерности в полосе пропускания, получим более острый излом.

Сама идея о том, что в полосе пропускания или подавления могут возникать пульсации ради увеличения крутизны переходного участка, доводится до своего логического завершения в идее эллиптического фильтра (или фильтра Кауэра), в котором допускаются пульсации характеристики как в полосе

пропускания, так и в полосе задерживания ради обеспечения крутизны переходного участка даже большей, чем у характеристики фильтра Чебышева.

Амплитудно-частотная характеристика фильтра Чебышева первого рода n -го порядка задаётся следующей передаточной функцией:

$$G_n(\omega) = |H_n(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 T_n^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)}} \quad (3.4)$$

где ε – показатель пульсаций;

ω_0 – частота среза;

$T_n(x)$ – многочлен Чебышева n -го порядка.

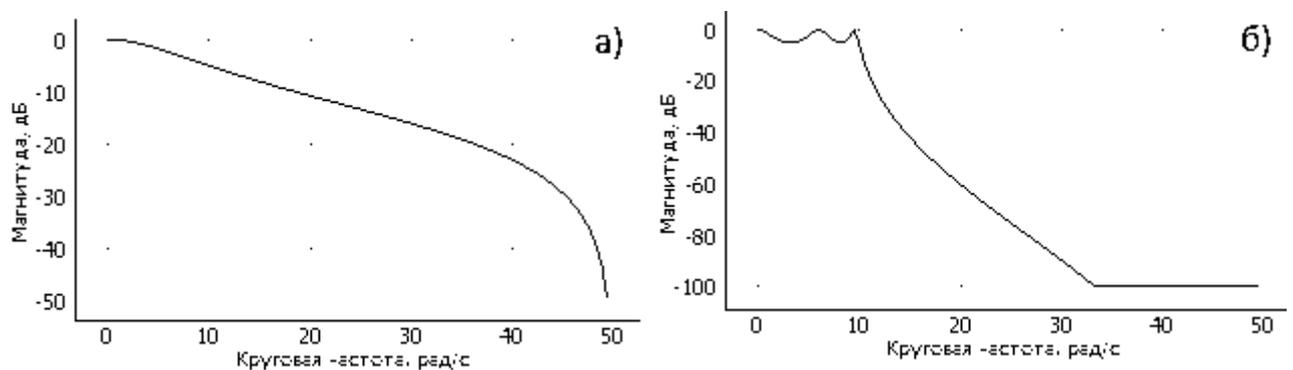


Рисунок 3.3 – ЛАЧХ фильтра Чебышева нижних частот; а) первого порядка; б) пятого порядка.

3.1.4 Эллиптический фильтр

Особенностью эллиптического фильтра являются пульсации амплитудно-частотной характеристики как в полосе пропускания, так и полосе подавления (рис. 3.4, б). За счёт присутствия пульсация в полосе пропускания и в полосе подавления переходный участок спектра фильтра имеет выраженный спад амплитудной характеристики, поэтому с помощью этого фильтра можно достичь более эффективного разделения частот, чем с помощью других линейных фильтров.

В случае если пульсации в полосе подавления становятся равны нулю, то эллиптический фильтр становится фильтром Чебышёва первого рода. Если пульсации в полосе подавления отсутствуют, то фильтр становится фильтром

Чебышёва второго рода. При полном отсутствии пульсаций фильтр становится фильтром Баттерворта.

Амплитудно-частотная характеристика Эллиптического фильтра нижних частот задаётся следующей передаточной функцией:

где R_n – реальная эллиптическая функция n -го порядка;

ω_0 – частота среза;

ξ – показатель селективности;

ε – показатель пульсаций.

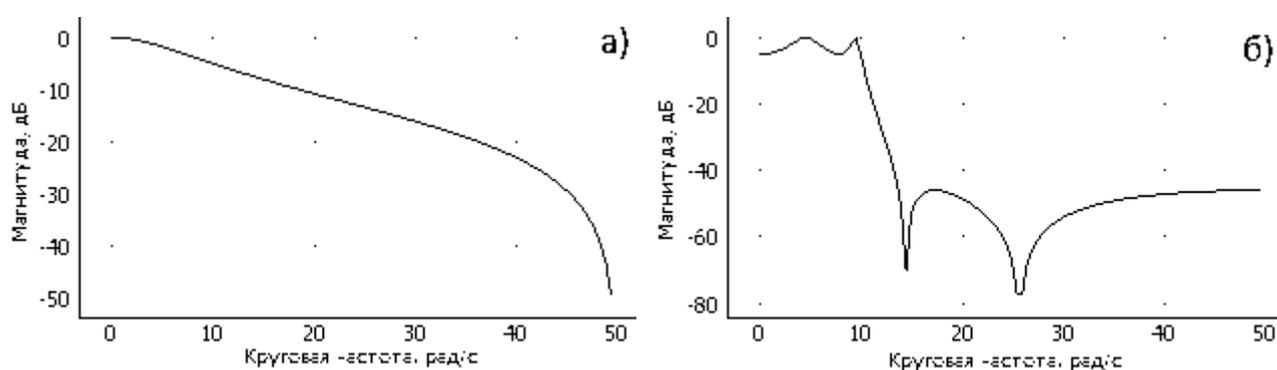


Рисунок 3.4 – ЛАЧХ эллиптического фильтра нижних частот; а) первого порядка; б) четвёртого порядка

3.2 Сравнительный анализ БИХ-фильтрации

3.2.1 Сравнение амплитудно-частотных характеристик

Фильтр Баттерворта имеет максимально плоскую характеристику в полосе пропускания, в связи с этим, если рассматривать ЛАЧХ этого фильтра, то нетрудно заметить наличие выраженной неравномерности в полосе пропускания. Кроме того, если рассматривать активные фильтры, которые строятся из радио элементов с определённым номинальным допуском, то на характеристике фильтра Баттерворта всегда будет иметь место наличие неравномерностей в полосе пропускания.

Среди всех БИХ-фильтров наиболее привлекательным является фильтр Чебышева (равноволновой фильтр), так как его переходная характеристика

имеет большую крутизну, за счёт того, что полоса пропускания может содержать несколько равновеликих пульсаций. За счёт этого фильтр обеспечивает намного большую крутизну характеристики в переходной области по сравнению с фильтром Баттерворта.

Идея о том, что можно мириться с возникновением пульсаций в полосе пропускания ради достижения крутизны переходного участка, полноценно доводится до завершения в идее эллиптического фильтра, в котором такие пульсации допускаются, как в полосе пропускания, так и в полосе подавления ради обеспечения крутизны переходного участка даже большей, чем у характеристики фильтра Чебышева.

Фильтр Бесселя с плоской амплитудно-частотной характеристикой может иметь большой сдвиг фаз. В таком случае форма сигнала, спектр которого лежит в полосе пропускания, будет искажена при прохождении через подобный фильтр.

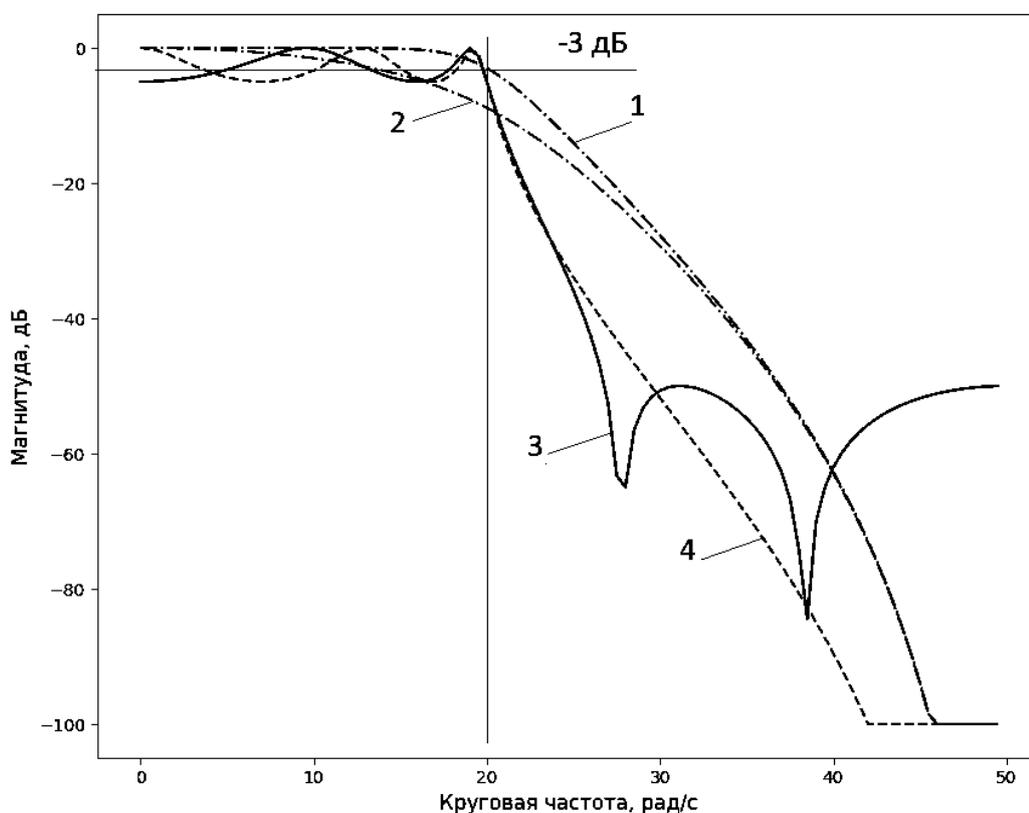


Рисунок 3.5 – Сравнение характеристик некоторых обычно применяемых 6-полюсных фильтров нижних частот; 1 – фильтр Баттерворта; 2 – фильтр Бесселя; 3 – эллиптический фильтр; 4 – фильтр Чебышева.

На рисунке 3.5 представлена ЛАЧХ четырёх обычно применяемых фильтров, а именно: фильтр Баттерворта, фильтр Бесселя, эллиптический фильтр и фильтр Чебышева. Спектры фильтров отображены при одной и той же частоте среза (20 рад/с), что соответствует уровню -3 дБ. На рисунке видно, что кривая каждого фильтра при одних и тех же параметрах имеет разный вид, как в полосе пропускания (частоты до 20 дБ), так и в полосе задерживания (частоты после 20 дБ).

Для сравнения эффективности фильтрации рассмотрим задачу проектирования фильтра с затуханием в 20 дБ приходящихся в точке на оси частот, отличающуюся на 25% от частоты среза ω_c . Расчёт показывает, что в таком случае требуется 19-полюсный фильтр Баттерворта или 8-полюсный фильтр Чебышева.

Из рисунка 3.5 видно, что даже при сравнительно малых пульсациях (порядка 0.1 дБ) фильтр Чебышева обеспечивает намного большую крутизну характеристики в переходной области, чем фильтр Баттерворта и Бесселя.

3.2.2 Сравнение характеристик группового времени запаздывания

Амплитудно-частотная характеристика фильтра не даёт о нём полной информации. Подобный фильтр может иметь большие сдвиги по фазе и сигнал на выходе будет сдвинут относительно входного. При этом сдвиг фазы всегда соответствует временному сдвигу, другими словами изменение временного сдвига зависит от изменения ФЧХ от частоты. Из рисунка 3.6 видно, что ФЧХ фильтра Баттерворта и Бесселя не линейна, следовательно, разные частоты приобретают разные фазовые сдвиги и соответственно разные временные задержки на выходе фильтра.

Фильтр Баттерворта (с плоской амплитудно-частотной характеристикой) может иметь большие сдвиги по фазе. В результате этого форма сигнала, спектр которого лежит в полосе пропускания, будет искажена при прохождении через фильтр подобного рода. Ситуации, при которой форма сигнала будет иметь свой

первостепенный вид полностью соответствует линейно-фазовый фильтр, например, КИХ фильтр.

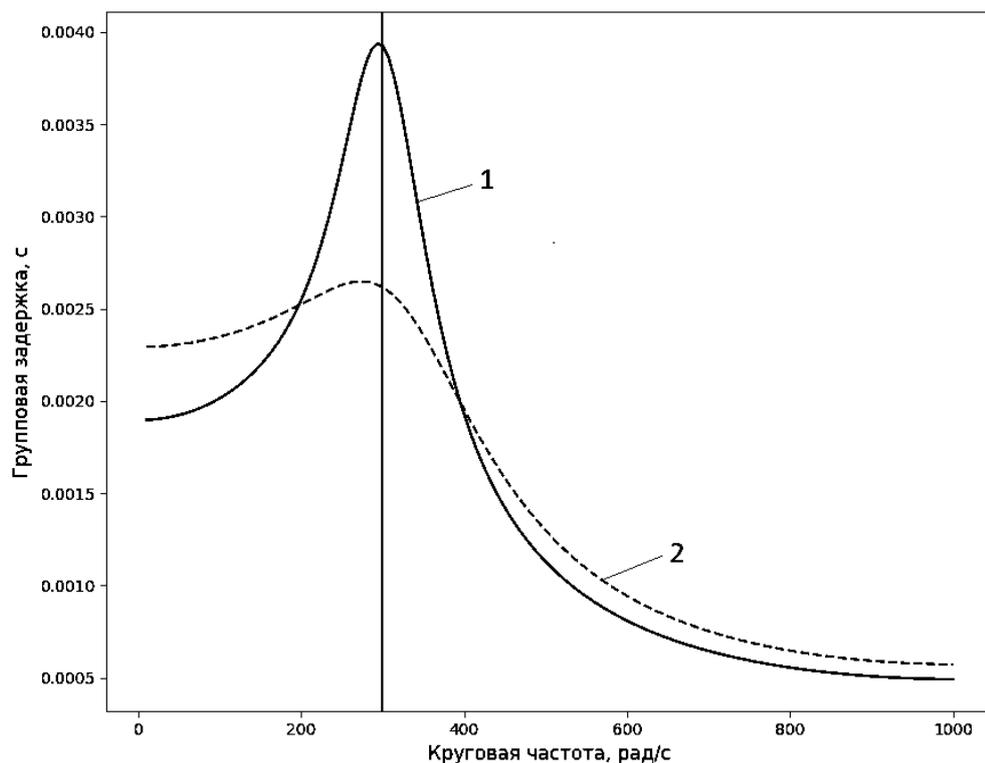


Рисунок 3.6 – Сравнение групповой задержки; 1) фильтр Баттерворта; 2) фильтр Бесселя.

Фильтр Бесселя (фильтр Томсона) по сравнению с фильтром Баттерворта имеет гораздо более плоский участок кривой времени запаздывания в полосе пропускания. Это даёт понять изображение их временных задержек (рис. 3.7), где изображены нормированные по частоте графики временного запаздывания 6-полюсных фильтров нижних частот Бесселя и Баттерворта.

Пульсирующая характеристика времени запаздывания фильтра Баттерворта напрямую связана с появлением случаев выброса при прохождении через фильтр импульсных сигналов. Что касается фильтра Бесселя, то, за постоянство времен запаздывания приходится расплачиваться тем, что его АЧХ имеет еще более пологий переходной участок между полосами пропускания и заграждения, чем даже у АЧХ фильтра Баттерворта.

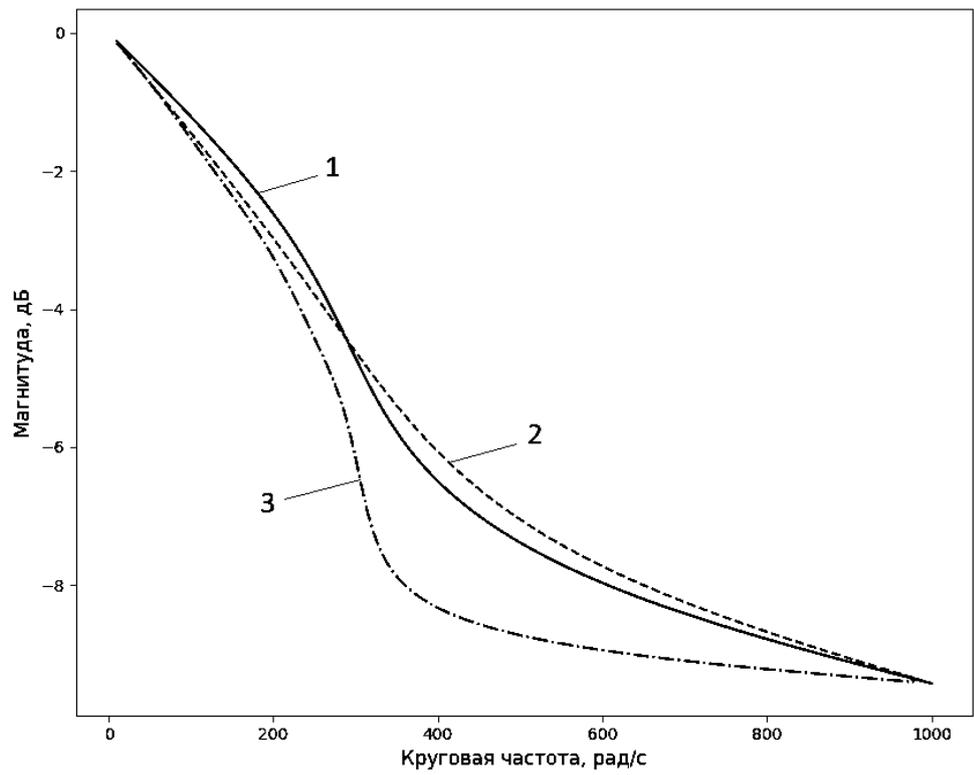


Рисунок 3.7 – Сравнение фазовой характеристики; 1 – фильтр Баттерворта; 2 – фильтр Бесселя; 3 – фильтр Чебышева.

Глава 4 Исследование и анализ методов фильтрация на базе вейвлет-преобразования

Под вейвлет преобразованием подразумевают интегральное преобразование, которое представляет собой свёртку основного сигнала с вейвлет функцией. В ходе выполнения вейвлет преобразования сигнал переходит из временного представления в частотно-временное. Методы вейвлет-анализа на сегодняшний день применяют к данным различной природы. Чаще всего это одномерная или двумерная обработка данных. В краткой классификации вейвлет-алгоритмов выделяют непрерывное и дискретное вейвлет-преобразования. В случае с дискретным вейвлет-преобразованием удаётся гораздо быстрее получить набор вейвлет-коэффициентов. При выполнении непрерывного вейвлет-преобразования требуется больших вычислительных мощностей, но наряду с этим, достигается более детальное представление сигнала.

Термин вейвлет-преобразование, как и преобразование Фурье объединяет в себе два вила преобразований – прямое и обратное, которые переводят функцию в вейвлет-коэффициенты и обратно.

В ходе непрерывного вейвлет-преобразования выбирается подходящая вейвлет-функция. Затем она приводится к наименьшему масштабу и в ходе выполнения итераций преобразования её масштаб увеличивается. При выполнении итерации отмасштабированная функция помещается в начало анализируемого сигнала ($t = 0$), перемножается с сигналом, интегрируется на интервале своего задания и нормализуется. Результат вычисления помещается в массив ячейки с номером, соответствующим масштабу и сдвигу. После вычисления первого значения вейвлет сдвигается вправо на значение b и процедура повторяется до тех пор, пока вейвлет-функция не достигнет конца сигнала. Для вычисления следующей масштабной строки значение масштаба увеличивается на некоторое значение.

Малые значения масштаба вейвлет-функции будут охватывать глобальное представление сигнала, большие, наоборот, будут включать мелкие флуктуации.

Прямое вейвлет-преобразование осуществляется согласно правилу:

$$W_{\psi}(a, b) = \frac{1}{\sqrt{C_{\psi}}} \int \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx \quad (4.1)$$

где a , b – параметры, определяющие масштаб и смещение функцией анализирующего вейвлета ψ ;

C_{ψ} – нормировочный множитель.

При известном наборе коэффициентов $W_{\psi}(a, b)$, есть возможность восстановить исходный вид функции $f(x)$ выполнив обратное вейвлет-преобразование:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{C_{\psi}}} \iint \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) (W_{\psi}(a, b)) \frac{da db}{a^2} \quad (4.2)$$

4.1 Дискретное вейвлет преобразование

Дискретное вейвлет преобразование (DWT) представляет собой такую реализацию вейвлет преобразования в ходе которого используются дискретные наборы масштабов и сдвигов вейвлета, подчиняющихся некоторым определённым правилам. Наиболее известным семейством ортогональных вейвлетов являются вейвлеты Добеши (рис. 4.1).

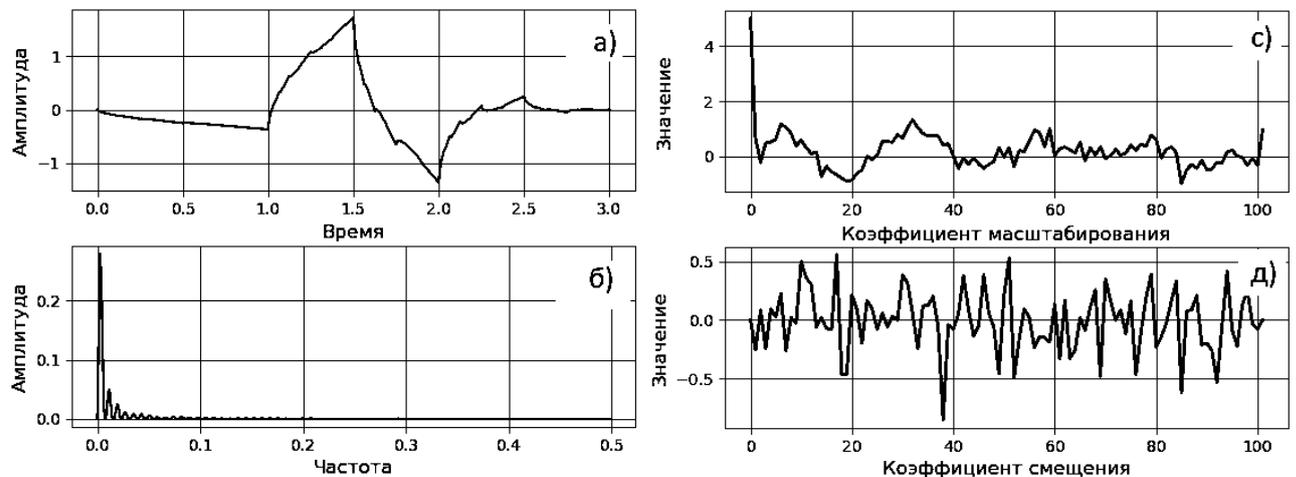


Рисунок 4.1 – Вейвлет Добеши 2-го порядка и 1-го уровня разложения; а) функция вейвлета; б) – АЧХ; с – значения коэффициента масштабирования; д) – значения коэффициента сдвига.

4.2 Непрерывное вейвлет-преобразования

Непрерывное вейвлет-преобразование (CWT) представляет собой преобразование, в ходе которого параметры масштабирования и сдвига непрерывно меняются. Примером непрерывного вейвлета может служить вейвлет "мексиканская шляпа" (рис. 4.2).

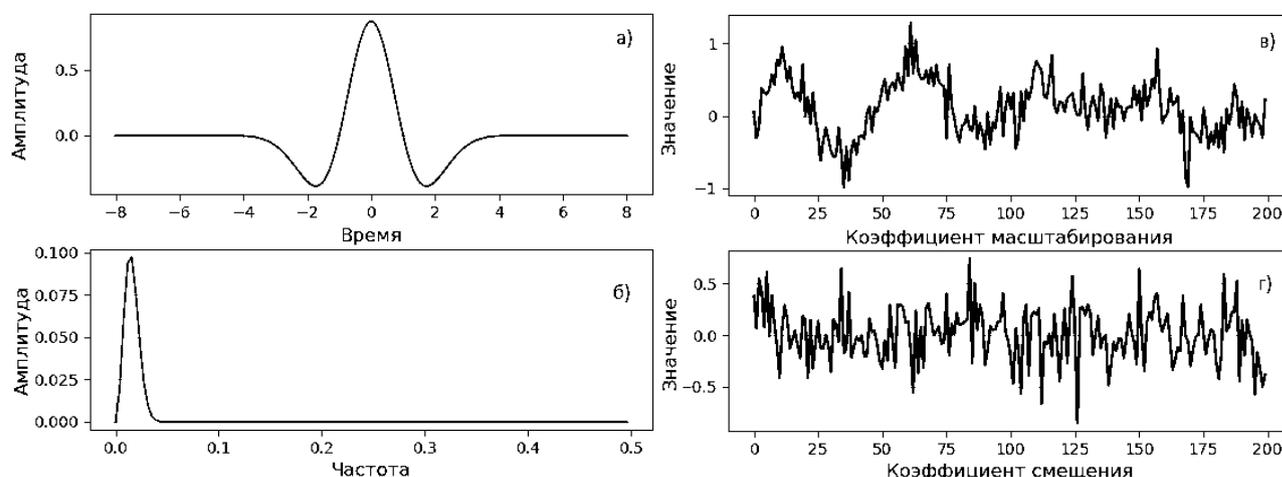


Рисунок 4.2 – Вейвлет "Мексиканская шляпа" 8-го порядка и 1-го уровня разложения; а) – функция вейвлета; б) – АЧХ; с) – значения коэффициента масштабирования; г) – значения коэффициента сдвига.

4.3 Вейвлет фильтрация

Вейвлет-преобразование исходного сигнала преобразует функцию с одной переменной в набор вейвлет-коэффициентов, а именно коэффициента масштаба и сдвига. Подобное разложение сигнала можно эффективно использовать, придерживаясь последовательности, при которой анализируемый сигнал подвергается прямому вейвлет-преобразованию. При этом компонента b , которая отвечает за сдвиг, должна пройти по всем значениям в пределах области определения сигнала, а компоненту a , которая определяет масштаб

вейвлета, следует изменять лишь в пределах масштаба тех компонент сигнала, которые необходимо выделить.

Подобная процедура носит название вейвлет-фильтрации, а сама программа, которая выполняет подобные действия, – вейвлет-фильтром. Выполнение фильтрации обычно состоит из четырёх этапов:

1. Разложение сигнала по базису вейвлетов. Выполняется прямое вейвлет-преобразование. Результатом преобразования выступают коэффициенты аппроксимации и сдвига детализации.

2. Выбор порогового значения шума для каждого уровня разложения.

3. Пороговая фильтрация коэффициентов детализации.

4. Реконструкция сигнала. Выполняется обратное вейвлет-преобразование.

При выполнении пунктов 2 и 3 в наборе вейвлет коэффициентов $W_{\psi}(a, b)$ обращают в ноль те коэффициенты, которые не превышают некоего установленного порога или наоборот.

Описанная методика обнуления коэффициентов позволяет выполнить сжатие с потерями (результатирующий сигнал после обработки станет отличным от исходного в допустимых пределах). К основным алгоритмам выбора порога шума относятся:

- "rigrsure" адаптивный выбор порога с использованием принципа объективной оценки риска Штейна;

- "heursure" эвристический вариант предыдущего метода;

- "sqrtwolog" для инверсного порога;

- "minimaxi" для минимального / максимального порога.

В качестве примера сгенерируем синусоидальный сигнал с наложением белого шума подчиняющегося нормальному закону распределения. Рассмотрим фильтрацию с помощью вейвлет-преобразования с использованием вейвлет-функция Хаара с одним уровнем разложения для сгенерированного выше зашумленного синусоидального сигнала. После выполнения прямого вейвлет-преобразования определим пороговое значение. В текущей работе ограничимся

использованием алгоритма инверсного порога, являющегося универсальным для модели гауссовского шума:

$$\Theta = \sqrt{2\ln(n)} \quad (4.3)$$

где n – количество отсчётов в сигнале;

Θ – порог шума.

На рисунке 4.3 изображены графики значений коэффициентов масштабирования, полученные после обнуления тех коэффициентов, которые не попали в интервал, заданного порогом масштабирования, который составил $\Theta = 0.22$.

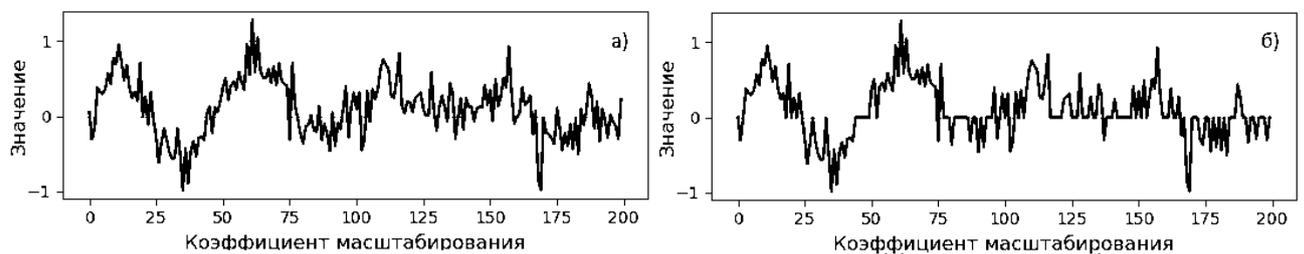


Рисунок 4.3 – Значения масштабирующих коэффициентов: а) исходный набор коэффициентов; б) коэффициенты отфильтрованы по пороговому значению с масштабом > 0.22 .

В том случае, если пороговое значение коэффициентов масштабирования будет выбрано неправильно, то из сигнала может пропасть часть полезной составляющей. Например, при использовании низкого порогового значения, отмасштабированная по коэффициентам вейвлет-функция в ходе свёртки с основным сигналом выделяет из него только высокочастотные составляющие, что обычно соответствует присутствующему в сигнале шуму, при этом информация о средних и высоких частотах, которые являются определяющими для основного сигнала пропадает. И наоборот при выборе слишком большого порогового значения в сигнале может остаться высокий уровень не желаемых высокочастотных помех. Для того, чтобы явным образом продемонстрировать это выполним обратное дискретное вейвлет-преобразование (рис. 4.4).

Из Рисунок 6.2, в видно, что при неверном обнулении масштабирующих коэффициентов мы теряем часть полезного сигнала, оставляя при этом шум.

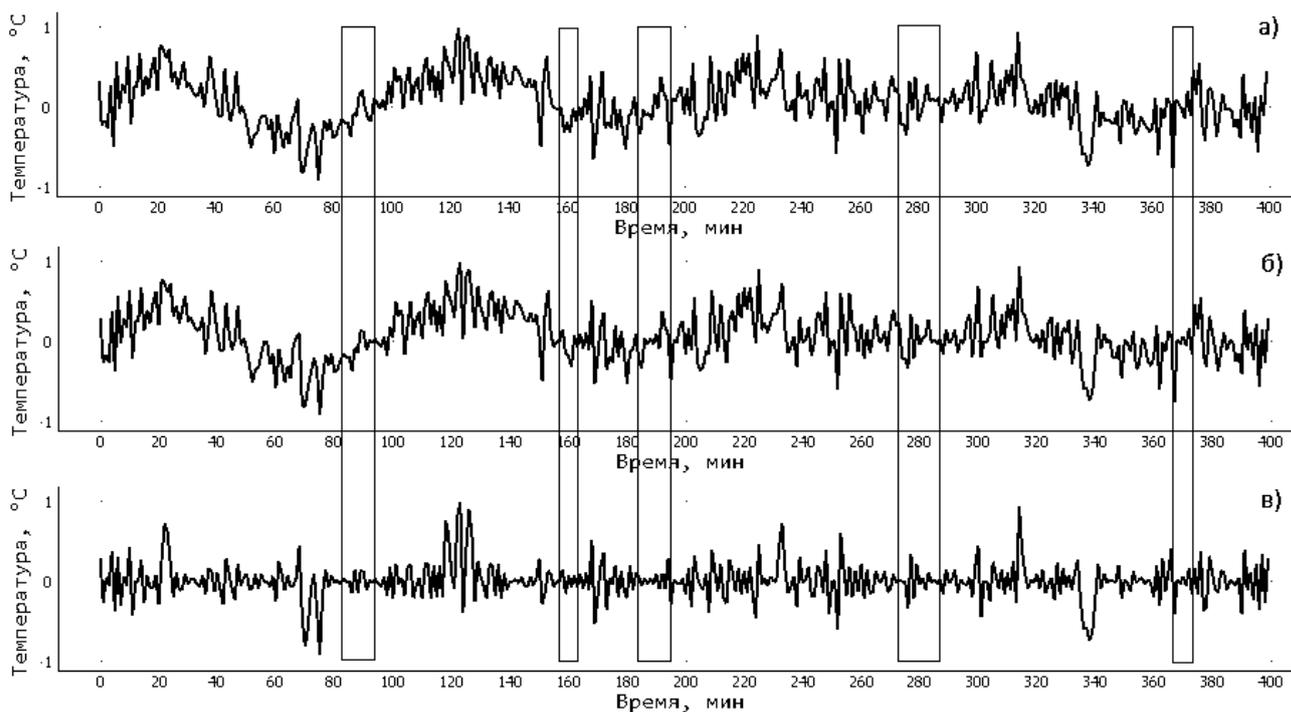


Рисунок 4.4 – Результат фильтрации исходного сигнала; а) исходный сигнал; б) сигнал, при фильтрации аппроксимирующих коэффициентов с порогом шума = 0.22; в) сигнал, при фильтрации аппроксимирующих коэффициентов с порогом шума = 0.8;

Для фильтрации коэффициентов сдвига (детализации), которая идёт третьим этапом, целесообразно придерживаться мягкой фильтрации. При этом те коэффициенты детализации, значения которых меньше порогового, также обнуляются, а остальные приводятся ближе к нулевому значению на величину порога:

$$f(n) = \begin{cases} x + \Theta, & x < 0 \text{ } | \text{ } x > 0 |, \\ x - \Theta, & x > 0 \text{ } | \text{ } x > 0 |, \\ 0, & |x| \leq 0 \end{cases} \quad (4.4)$$

где x – значение коэффициента до фильтрации;

Θ – порог шума.

На рисунке 4.5 изображены графики значений коэффициентов детализации. Как видно из рисунка 4.5, б, при обнулении тех коэффициентов, которые не попали в интервал, заданного порогом масштабирования происходит удаление коэффициентов, которые отвечают за малый сдвиг вейвлет-функции

при выполнении операции свёртки. В результате этого из сигнала пропадают высокочастотные составляющие, а значит и шум.

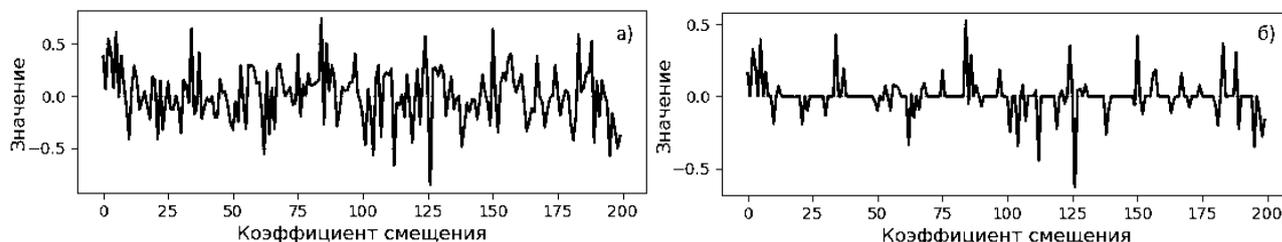


Рисунок 4.5 – Набор коэффициентов детализации; а) исходное значение коэффициентов; б) коэффициенты отфильтрованы по пороговому значению.

На рисунке 4.6, б представлен результирующий сигнал, полученный при использовании вейвлет-преобразования с функцией Хаара для одного уровня разложения с отфильтрованными коэффициентами масштабирования и сдвига согласно рассчитанным порогам.

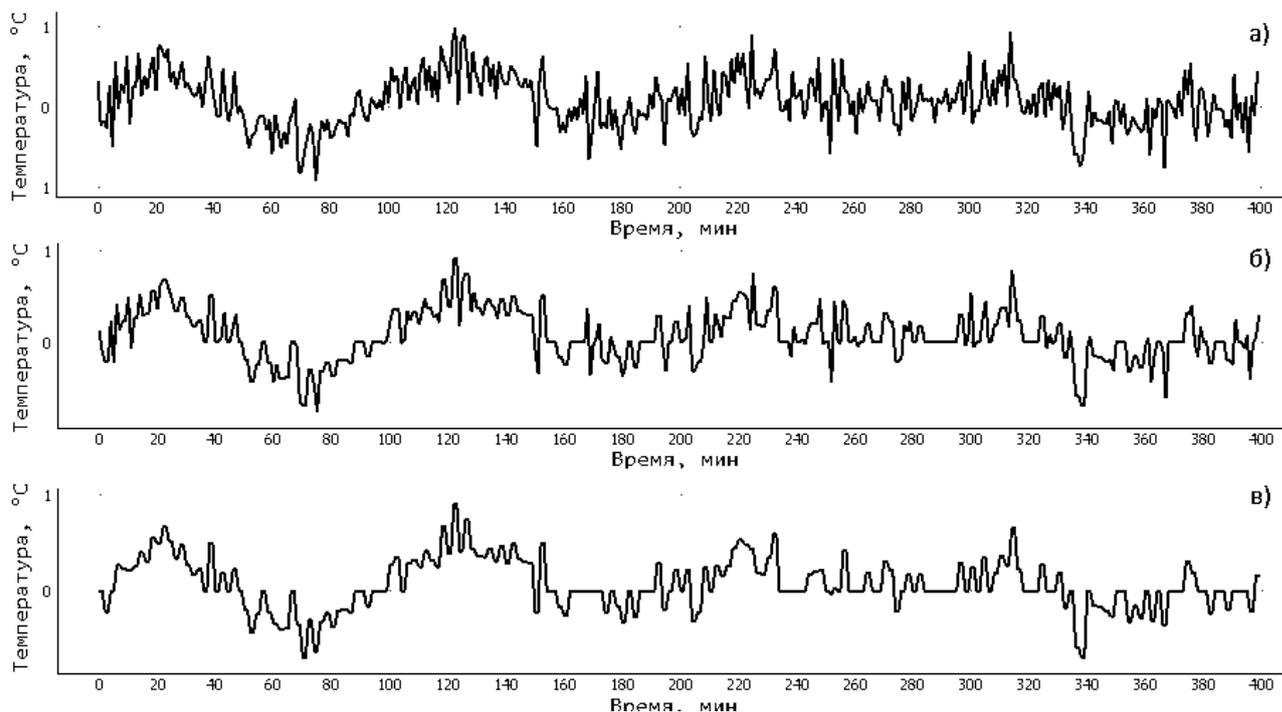


Рисунок 4.6 – Результат фильтрации исходного сигнала: а) исходный сигнал; б) сигнал, при фильтрации аппроксимирующих коэффициентов с порогом шума = 0.22; в) сигнал, при фильтрации аппроксимирующих коэффициентов с порогом шума = 0.8;

В случае, как и при выборе порога для коэффициентов масштабирования, если порог коэффициентов детализации будет определён неверно (рис. 4.6, в), то при обнулении может пропасть полезная составляющая сигнала, которой чаще всего соответствует среднечастотные и низкочастотные компоненты.

Выбор используемой вейвлет-функции и глубины разложения, в общем случае, зависит от свойств конкретного сигнала. При выборе фильтрующей функции можно придерживаться следующих критериев:

1. Гладкие функции вейвлетов формируют гладкую аппроксимацию сигнала, тогда как менее гладкие короткие вейвлеты, лучше выделяют локальные особенности (пики) сигнала.

2. Глубина разложения напрямую влияет на глубину отсеиваемых компонент сигнала. Другими словами, при увеличении порядка разложения от основного сигнала отделяется шум всё большего уровня, пока не наступает перебор масштаба.

Чтобы доказать вышесказанное сгенерируем зашумленный сигнал вида "шишка" с наложенным на него посторонним шумом. В ходе выполнения фильтрации ограничимся применением двух вейвлет-функций, а именно: Добеши 2-го порядка (короткая) и Добеши 7-го порядка (гладкая) при одном и том же уровне разложения (рис. 4.7).

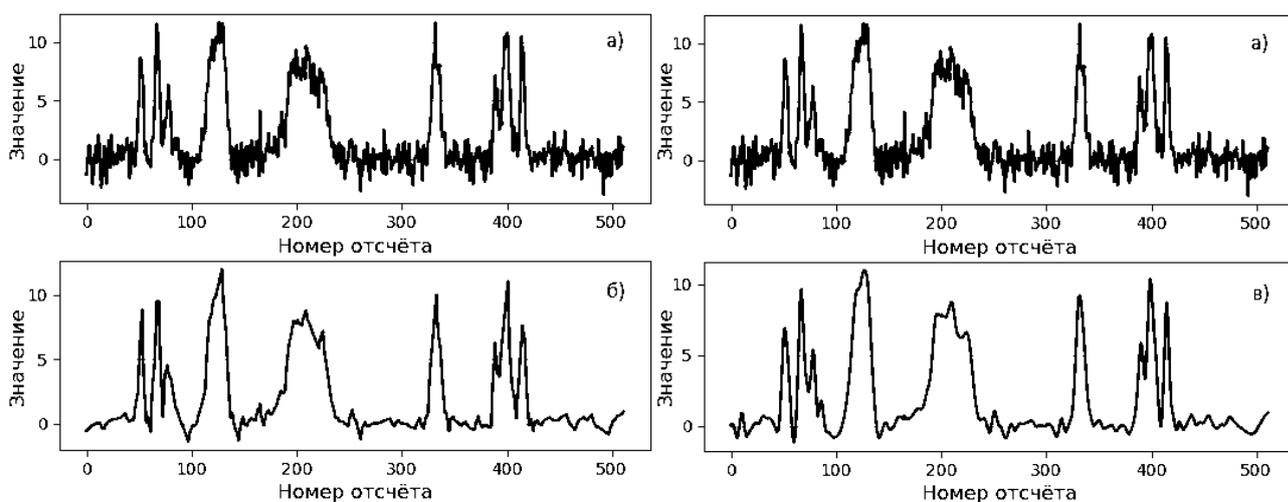


Рисунок 4.7 – Вейвлет-фильтрация с 4-м уровнем разложения: а) исходный зашумленный сигнал б) Добеши 2-го порядка; в) Добеши 7-го порядка

Из рисунка 4.7 видно, что при использовании короткой вейвлет-функции отфильтрованный сигнал сохраняет форму своих первоначальных пиков и имеет острые переходы между значениями. Гладкий вейвлет, напротив, выполняет гладкую аппроксимацию, за счёт чего места резкого перехода значений срезаются, демонстрируя более гладкие переходы по сравнению.

Для более детального отображения коэффициентов вейвлет-преобразования воспользуемся вейвлет-скалограммой (рис. 4.8). Скалограмма дает более детальный ответ на вопрос о распределении частот во времени. Так при выполнении вейвлет-преобразования Добеши четвёртого уровня разложения видно, что с увеличением масштаба вейвлет-функции уменьшается её шаг сдвига относительно основного сигнала, другими словами на том же временном интервале становится больше шагов анализа. В ходе изменения масштаба вейвлет-функции меняется и частотный спектр этой функции. Из этого можно сделать вывод о том, что рост коэффициентов масштабирования изменяет не только внешний вид функции, но и её спектральные характеристики, что безусловно оказывает влияние на возможность выделения тех или иных частот при выполнении операций свёртки.

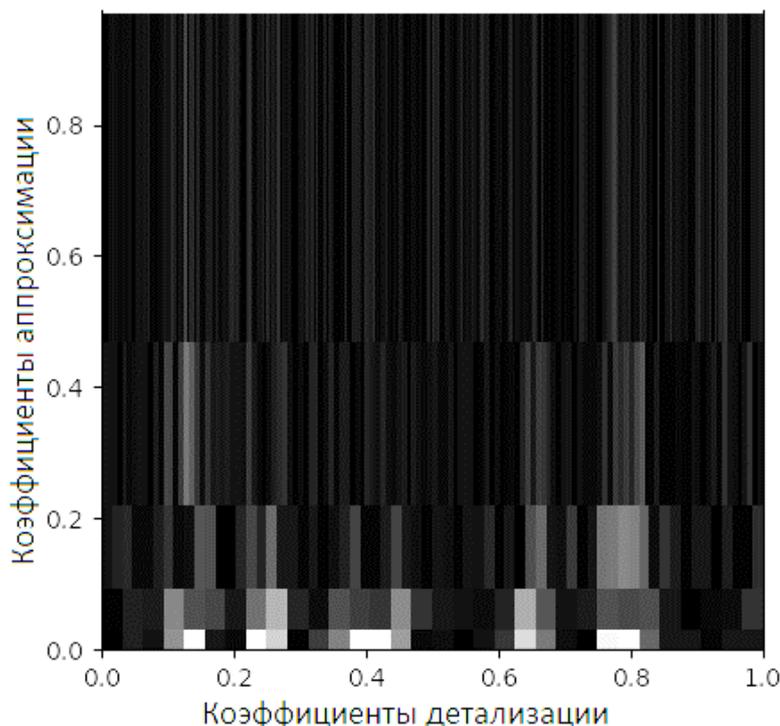


Рисунок 4.8 – Вейвлет-скалограмма обрабатываемого сигнала.

4.3.1 Спектральный анализ вейвлет-функций

При исследовании и обработке сигнала большой объём информации содержится в его частотных характеристиках. Поскольку вейвлет-функции обладают хорошей частотно-временной адаптацией, они могут выступать удобным инструментом для исследования частотных характеристик сигнала.

Помимо всего прочего, между значениями масштабируемых коэффициентов вейвлет-преобразования и его частотной областью существует явная связь.

В качестве примера рассмотрим четыре вейвлета Добеши 1, 2, 3, и 4-го порядков (рис. 4.9).

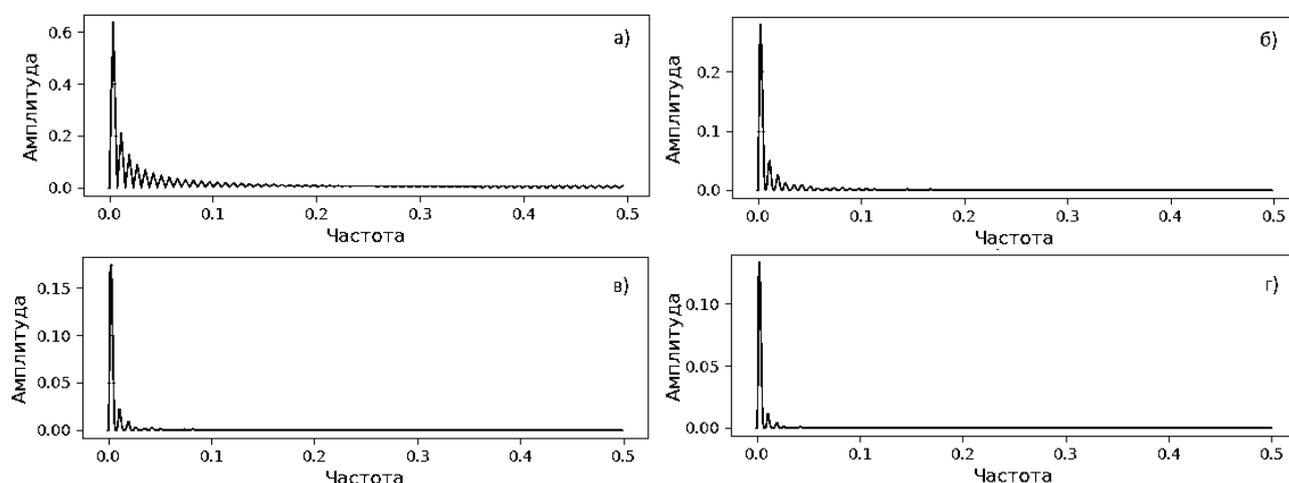


Рисунок 4.9 – Спектры вейвлетов Добеши порядка от 1 до 4.

Из полученных спектрограмм явно виден пик приходящийся на низкочастотную область, при этом амплитуда на верхних частотах приближается к нулю. Отсюда можно сделать вывод, что вейвлеты являются узкополосными фильтрами и могут выделять из сигнала те составляющие, частота которых полностью, либо частично соответствует их пику.

При увеличении масштаба вейвлет-функции пропорционально уменьшается его центральная частота, а значит фильтр подобного рода при свёртке с основным сигналом будет лучше отрезать высокочастотные составляющие, чему очень часто соответствует шумовая помеха, при этом

низкие частоты, которые соответствуют полезному сигналу останутся нетронутыми.

Изменение масштаба вейвлет приводит к пропорциональному изменению его центральной частоты:

$$F_a = \frac{\Delta \cdot F_c}{a} \quad (4.5)$$

где F_a – частота на масштабе a ;

F_c – центральная частота вейвлета на масштабе 1;

Δ – период дискретизации.

В результате, изменяя масштаб вейвлет-преобразования, можно покрыть весь частотный диапазон исследуемого сигнала.

4.4 Применение вейвлет-анализа для обработки временных рядов метеорологических данных

Для проведения программных экспериментов использовались показания регистраторов системы климатического мониторинга, включающие основные метеорологические параметры [3]. Данные получены с Томской метеостанции № 202, расположенной по координатам на широте 56.4757 и долготе 85.0547 (г. Томск, микрорайон Академгородок, Академический проспект, 10/3с4).

При получении данных на станции используется метеорологический комплекс 104АМК-03. Данный метеорологический комплекс предназначен для автоматических измерений при температуре от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$ и регистрации значений основных метеорологических величин:

- скорости и направления горизонтального ветра;
- скорости вертикального ветра;
- температуры воздуха;
- относительной влажности воздуха;
- атмосферного давления;
- параметров турбулентности.

В экспериментах использовались усреднённые данные температуры за период с 06.05.2020 14:20:00+07 по 31.05.2020 14:20:00+07. Интервал между измерениями составил 60 секунд, количество измерений составило 36000 шт. (рис. 4.10).

Для проведения экспериментов по исследованию эффективности применения алгоритмов фильтрации было разработано приложение в среде PyCharm на языке программирования Python. Программный интерфейс выполнен с использованием модуля PyQt5 для создания полноценных GUI-систем.

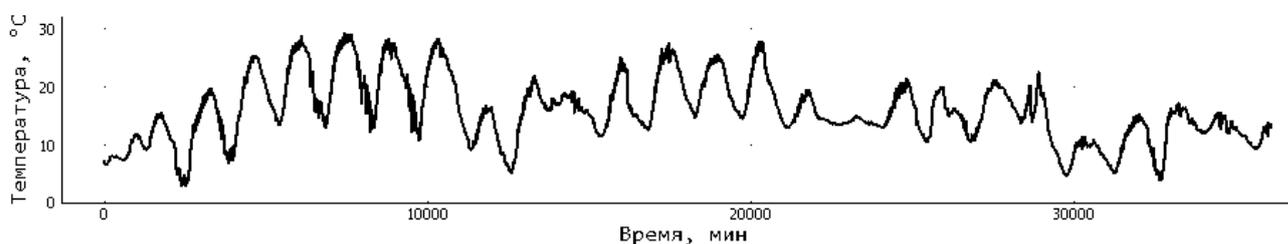


Рисунок 4.10 – Исходный зашумленный сигнал.

Для обработки сигнала в ходе выполнения вейвлет-преобразования использовалась вейвлет-функция Добеши четвертого порядка (см. приложение Б) с четырьмя уровнями разложения.

Из рисунка 4.11 видно, что на первом уровне разложения используется самое большое число коэффициентов аппроксимации и детализации. Результатом применения вейвлет-функции является выход фильтра нижних частот масштабированной вейвлет-функции. Для построения вейвлет-функции используются коэффициенты масштабирования и сдвига согласно определённому порогу на каждом уровне разложения.

За счёт выполнения большого количества операций свёртки отмасштабированной в n раз и сдвинутой на m единиц вейвлет-функции с функцией основного сигнала при первом разложении и коэффициентами аппроксимации при последующих разложениях, большая часть высокочастотных составляющих переходит в коэффициенты детализации (рис.

4.11, а). На этом этапе сигнал теряет основной набор высокочастотных составляющих.

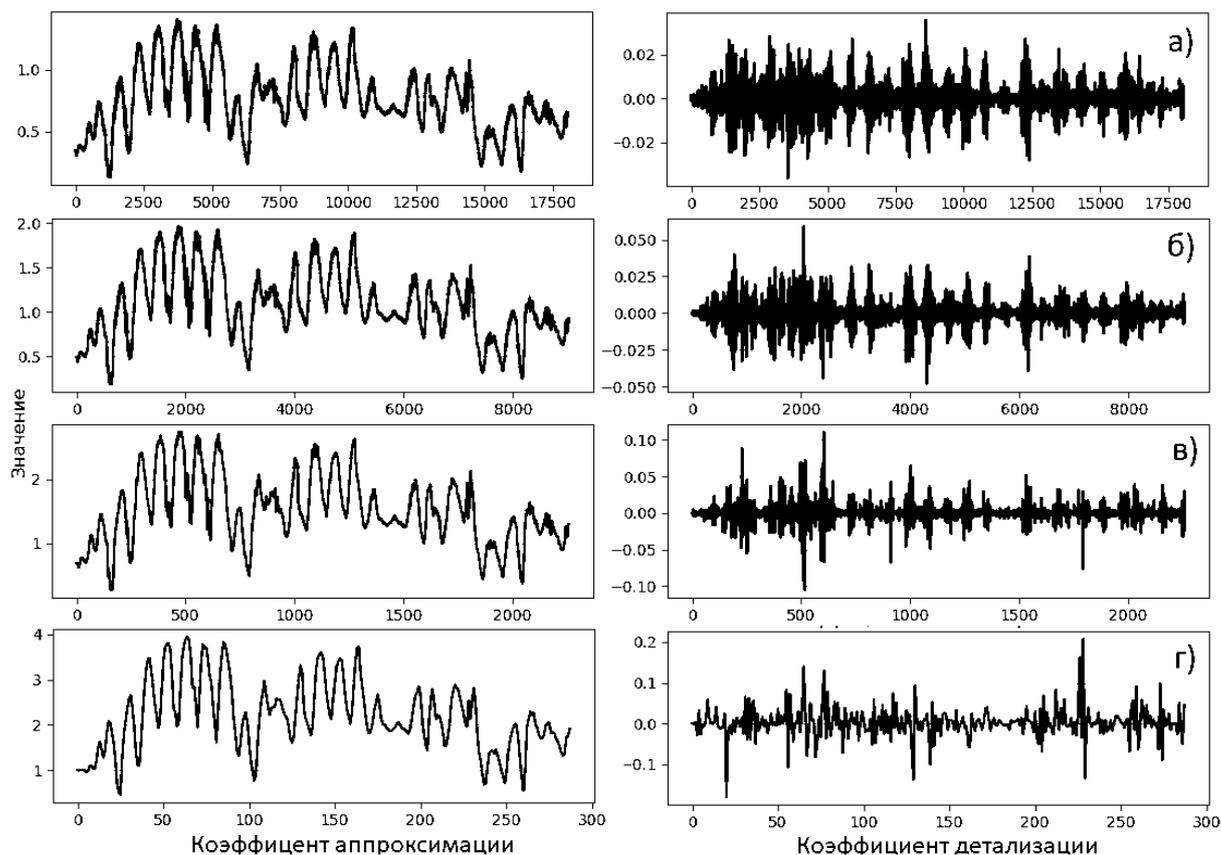


Рисунок 4.11 – Анализ временного ряда.

В результате выполнения вейвлет-преобразования четвёртого уровня разложения, с учётом рассчитанных и отфильтрованных порогов, имеем конечные коэффициенты разложения. При реконструкции сигнала из найденных выше коэффициентов в него войдёт только полезная информация, с минимальным наличием среднечастотных составляющих, которые для данного уровня разложения смогли сохраниться в результирующем наборе коэффициентов детализации (рис. 4.12).

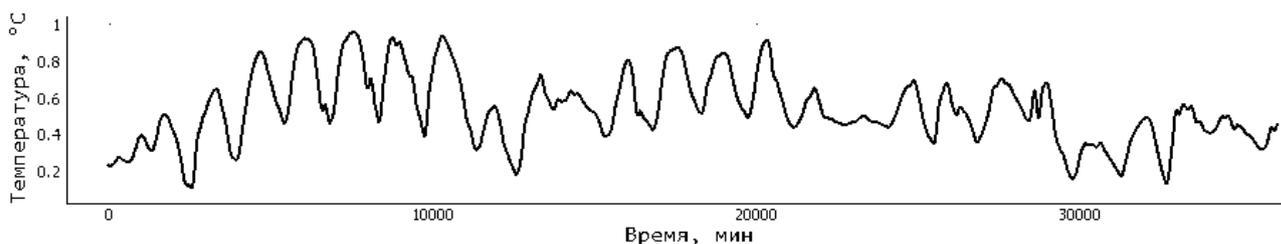


Рисунок 4.12 – Сигнал после обработки.

Заключение

В данной работе были приведены результаты исследования по фильтрации помех в измерительных каналах с использованием основных алгоритмов частотной фильтрации. Исследование проводилось с позиции подавления высокочастотных случайных помех в виде белого шума. Результаты исследования были апробированы на реальных цифровых метеорологических данных метеостанций Томска.

В ходе выполнения исследовательского анализа в работе были рассмотрены различные виды и подходы к реализации фильтров с различной степенью сложности. По итогу исследования проведён сравнительный анализ, в котором были определены явные достоинства и недостатки того или иного метода. В основные критерии, по которым велась оценка обусловленности выбора типа фильтрации, а также его входных данных, вошли такие показатели, как число операций в ходе выполнения математических преобразований, нагрузка на аппаратные ресурсы вычислительной техники, изображения общих характеристик фильтров.

При выполнении исследований в работе рассматриваются фильтры с конечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтры) на основе взвешенных оконных Фурье-функций, а также фильтры с бесконечной импульсной характеристикой: Чебышёва, Баттерворта, Бесселя и др. Для выбора конкретного типа фильтрации обязательно необходимо учитывать то, что характеристика БИХ-фильтра – нелинейная. КИХ-фильтры могут достигать линейности в своих фазовых характеристиках, а значит, не вносят искажения в форму сигнала. При пропускании сигнала через фильтры с постоянной групповой задержкой (линейной ФЧХ) сигнал на выходе полностью повторяет сигнал на входе, т.е. фаза исходного и выходного сигнала совпадает. Нелинейная ФЧХ фильтра искажает сигнал. В связи с этим сформированы два основных принципа по выбору того или иного вида фильтрации в зависимости от относительных преимуществ обоих фильтров:

1. Применять БИХ-фильтры, если единственными важными требованиями являются характеристика с резкими срезами и высокая пропускная способность, поскольку БИХ-фильтры (особенно те, в которых использованы эллиптические характеристики) потребуют определения меньшего числа коэффициентов, чем КИХ-фильтры. Кроме того, БИХ-фильтры более предпочтительны для обработки выборок входных сигналов очень большого объема и из-за значительно меньшей задержки, чем у КИХ-фильтров, лучше подходят для обработки в реальном времени.

2. Использовать КИХ-фильтры, если число коэффициентов фильтров не очень велико, когда не существует проблем с машинным временем, когда требуются фильтры с линейной фазой, а также для реализации многоскоростных фильтров, где входной и соответствующий выходной сигналы дискретизированы с разной частотой.

Глава 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Организация и планирование работ

Перед началом организации процесса реализации на первых этапах необходимо рационально распланировать занятость каждого из участников, а также сроки проведения отдельных исполнительных работ.

В данном пункте отображён полный перечень проведённых работ с указанием конкретных исполнителей с определённой степенью загруженности. Для наглядного представления результатов планирования работ используется линейный график реализации проекта. Построение графика осуществляется согласно упорядоченным вышеуказанным данным, которые сведены в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение используемой литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Выбор структурной схемы алгоритмов проектирования фильтрации	НР, И	НР – 100% ИП – 70%
Выбор принципиальной схемы алгоритмов проектирования фильтрации	НР, И	НР – 100% И – 80%
Расчёт принципиальной схемы	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

5.1.1 Продолжительность этапов работ

Для расчёта продолжительности этапов работ рассмотрены два основных метода: технико-экономический и опытно-статический.

В связи с тем, что в работе задействована не развитая нормированная база трудоёмкости планируемых процессов, что в первую очередь обуславливается низкой степенью повторяемостью процессов, то в качестве основного метода расчёта продолжительности работ выбран опытно-статический метод. Расчёт по опытно-статическому методу реализуется на основе аналогового способа для определения вероятных значений продолжительности работ $t_{ож}$ (5.1).

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5} \quad (5.1)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

Для выполнения приведённых в таблице (5.1) работ требуются следующие специалисты:

- действующий исполнитель ВКР;
- научный руководитель.

При построении линейного графика на основе полученного значения времени продолжительности работ рассчитана длительность этапов в рабочих днях, а затем переведена в календарные дни. Расчёт продолжительность каждого этапа выполнялся согласно формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д} \quad (5.2)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определённых длительностей, в частности, возможно $K_{ВН} = 1$;

K_d – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ.

Для того, чтобы перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, рассчитаем коэффициент календарности (5.3).

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (5.3)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни;

$T_{ВД}$ – выходные дни;

$T_{ПД}$ – праздничные дни;

$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_K$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

T_K – коэффициент календарности.

$$T_K = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В таблице 5.2 приведён расчёт продолжительности этапов работ и их трудоёмкости по исполнителям, занятым на каждом этапе.

Таблица 5.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

	Исполнители	Продолжительность работ,			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
		дни			$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка задачи	НР	2	4	2,8	3,36	–	4,01	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	7	10	8,2	9,84	0,98	11,86	1,19
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	30	45	36	12,96	43,2	15,62	52,06
Разработка календарного плана	НР, И	2	4	2,8	3,36	0,34	4,05	0,4
Обсуждение литературы	НР, И	4	5	4,4	1,58	5,28	1,91	6,36
Выбор структурной схемы алгоритмов проектирования фильтрации	НР, И	10	16	12,4	14,88	10,42	17,93	12,55
Выбор принципиальной схемы алгоритмов проектирования фильтрации	НР, И	20	40	28	33,6	26,88	40,49	32,39
Расчет принципиальной схемы	И	60	120	84	–	100,8	–	121,46
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	7	10	8,2	–	9,84	–	11,86
Оформление графического материала	И	7	10	8,2	–	9,84	–	11,86
Подведение итогов	НР, И	5	8	6,2	4,46	7,44	5,38	8,97
Итого:				201,2	84,048	215,01	101,28	259,09

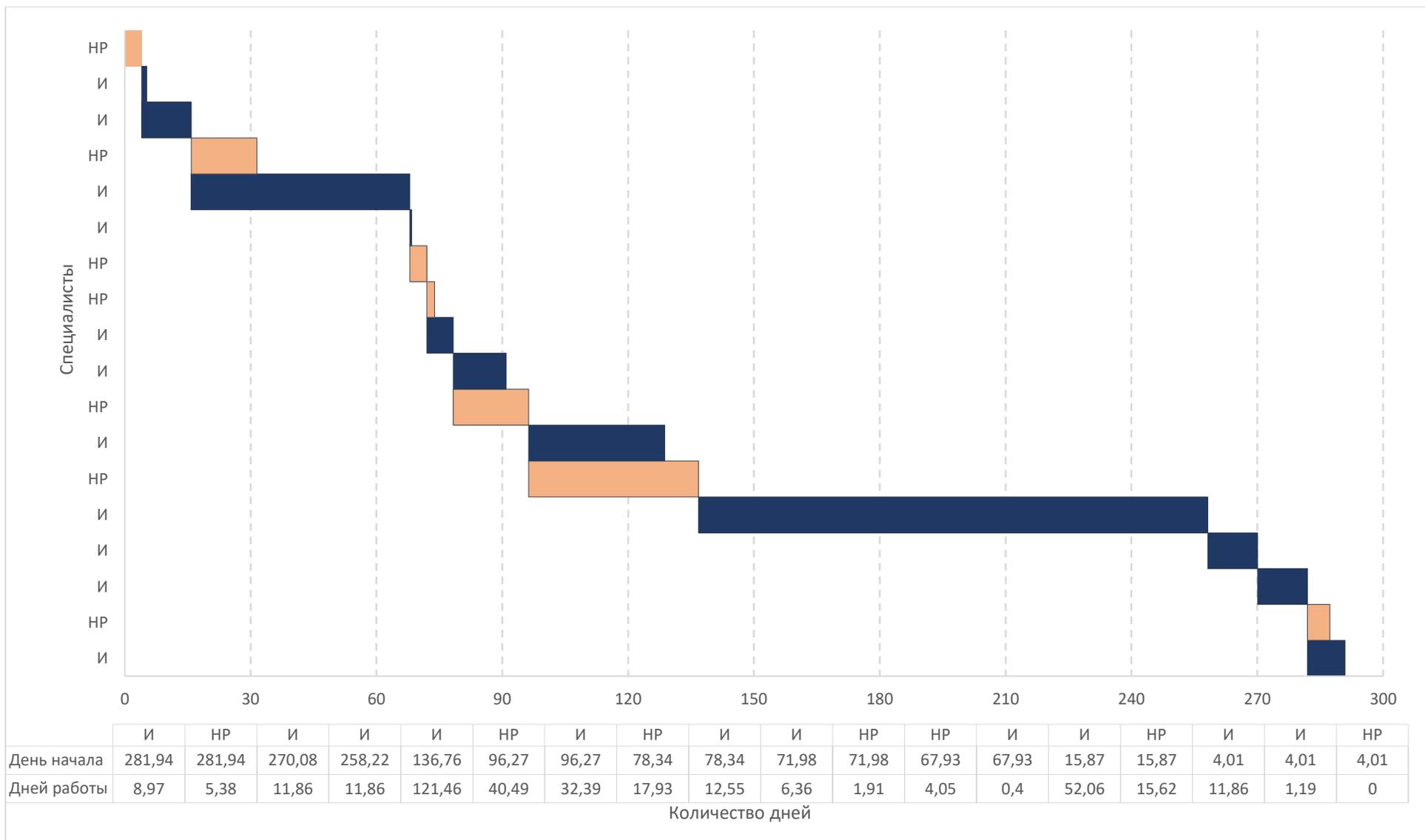


Диаграмма 5.1 – Трудозатраты на выполнение проекта.

5.2 Расчёт сметы затрат на выполнение проекта

Для осуществления создания проекта в первую очередь необходимо определить сметную стоимость, которая включает в себя сумму всех денежных расходов. Расчёт сметной стоимости её выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

5.2.1 Расчёт затрат на материалы

На материальные затраты являются самыми значительными среди остальных статей затрат. Их доля в общей сумме затрат составляет 60-90%. К данной статье расходов относится стоимость сырья и материалов, стоимость сторонних работ, стоимость полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Все вышеперечисленные элементы входят в состав себестоимости, за вычетом стоимости реализованных отходов. Под отходами понимается остатки сырья, материалов и т. д., образовавшиеся в процессе производства, которые могут быть реализованы по полной или пониженной цене.

Для рационального использования материалов прибегают к процессу нормирования их материальных затрат. Под нормой расхода понимается максимально допустимое количество сырья, материалов, расходуемых на изготовление единицы продукции установленного качества.

В таблице 5.3 представлен перечень затрат на материалы, используемых при выполнении проекта.

Таблица 5.3 – Расчёт затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Фотобумага для принтера 250 гр 10 x 15 см.	270	3 ролика	810
Бумага для принтера формата А4	190	1 уп.	150
Картридж для принтера	1550	1 шт.	1550
Лицензия ППП G Data TotalProtection	2000	1 экз.	2000
Итого:			4510

5.2.2 Расчёт заработной платы

Статья включает в себя заработную плату научного руководителя и исполнителя проекта, а также премии. Расчёт основной заработной платы производится на основе трудоёмкости выполнения каждого этапа трудозатрат на выполнение проекта, а также величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата рассчитывалась согласно формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \text{МО} / 25,083 \quad (5.4)$$

где МО – величина месячного оклада.

Данные расчёта затрат на полную заработную плату приведены в таблице 5.4. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях округлением до целого взяты из таблицы 5.2. Для учёта в составе полной заработной платы премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется ряд коэффициентов. В результате интегральный коэффициент рассчитывается, как:

$$K_{\text{И}} = K_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{доп ЗП}} \cdot K_{\text{р}} \quad (5.5)$$

где $K_{\text{ПР}}$ – доля премий ($K_{\text{ПР}} = 1,1$);

$K_{\text{доп ЗП}}$ – дополнительная заработная плата ($K_{\text{доп ЗП}} = 1,188$ для шестидневной рабочей недели и $K_{\text{доп ЗП}} = 1,113$ для пятидневной рабочей недели);

$K_{\text{р}}$ – районная надбавка ($K_{\text{р}} = 1,3$).

Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя к полному заработку (зарплатной части сметы) перемножим между собой среднюю ставку, затраты по времени и интегральный коэффициент.

Таблица 5.4 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33664	1342,09	97	1,699	221 180,46
И	9489	378,30	254	1,62	155 662,88
Итого:					376 843,34

5.2.3 Расчёт затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСО), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30% от полной заработной платы по проекту:

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{эп}} \cdot 0,3 \quad (5.6)$$

$$C_{\text{соц}} = 376843,34 \cdot 0,3 = 113053 \text{ руб.}$$

5.2.4 Расчёт затрат на электричество

Такие расходы включают в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта при работе оборудования. Затраты электроэнергии при работе оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot C_{\text{э}} \quad (5.7)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт · час ($C_{\text{э}} = 6,59$ руб./квт·час);

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

На основе итоговых данных таблицы Таблица 5.4 время работы оборудования вычисляется согласно формуле 5.8 с учётом, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t \cdot 8 \quad (5.8)$$

где $T_{РД}$ – общая продолжительность этапов работ, дн.;

K_t – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы к $T_{РД}$ (время работы оборудования принято $t = 165$ дн.).

Мощность, потребляемая оборудованием, определялась согласно формуле:

$$P_{ОБ} = P_{НОМ} \cdot K_C \quad (5.9)$$

где $P_{НОМ}$ – номинальная мощность оборудования;

K_C – коэффициента загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности ($K_C = 1$).

Таблица 5.5 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	коэффициент использования оборудования K_t	Время работы оборудования $t_{ОБ}$, час	Потребляемая мощность $P_{ОБ}$, кВт	Затраты $C_{эл.об}$, руб.
Персональный компьютер	0.77	1324	0,0275	239,94
Лазерный МФУ принтер	0.001	2	0,675	8,89
Итого:				248,84

5.2.5 Расчёт амортизационных расходов

В данной статье приводится расчёт амортизации используемого оборудования за время выполнения проекта, которая рассчитывается по формуле:

$$C_{АМ} = \frac{N_A \cdot C_{ОБ} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_D} \quad (5.10)$$

где N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{ОБ}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учётом ТЗР;

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования ($F_D = 298 \cdot 8 = 2384$ часа);

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Оборудование, которое используется в ходе выполнения проекта попадает под вторую амортизационную группу со сроком полезного использования от 2 до 3 лет.

Таблица 5.6 – Амортизационные расходы

Наименование	Годовая норма амортизации H_A , лет	Балансовая стоимость единицы оборудования C_{OB} , руб.	Фактическое время работы оборудования $t_{рф}$, часов	Число задействованных единиц оборудования n , шт.	Амортизация C_{AM} , руб.
Персональный компьютер	0,33	45000	1324	1	8247
Лазерный МФУ принтер	0,33	10290	2	1	2,85
Итого					8249,85

5.2.6 Расчёт расходов, учитываемых непосредственно на основе платёжных (расчётных) документов (кроме суточных)

В данную статью можно отнести следующие расходы:

- командировочные расходы, в т. ч. расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;
- оплата услуги связи;
- услуги сторонних организация.

Время пребывания в общежитии составила 540 календарных дней с учётом дней приезда и отъезда. Оплата проживания в общежитии 12,77 руб. в день. Общая стоимость проживания составила 6895,8 руб.; оплата проезда по ж. д. на электричке в обе стороны – 840 руб.; стоимость проезда на городском автобусе в обе стороны 200 руб. Общая стоимость по проезду с учётом затраченных дней составила $(200 + 840) \cdot 40 = 41600$ руб. Итого по данному пункту общее число расходов $C_{нр} = 6895,8 + 41600 = 48495,8$ руб.

5.2.7 Расчёт прочих расходов

В данной статье отражаются расходы на выполнение проекта, которые не учитываются в предыдущих статьях. Их величина составляет 10% от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{маи}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1 \quad (5.11)$$

В итоге получаем:

$$C_{\text{проч.}} = (4510 + 376843,34 + 113053 + 248,84 + 8249,85 + 48495,8) \cdot 0,1;$$

$$C_{\text{проч.}} = 55140,083 \text{ руб.}$$

5.2.8 Расчёт общей себестоимости разработки

Проведя расчёт по всем статьям сметы затрат на разработку, определим общую стоимость проекта (табл. 5.7) «Применение алгоритмов фильтрации для обработки временных рядов».

Таблица 5.7 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	4510
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	376843,34
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	113053
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл}}$	248,84
Амортизационные отчисления	$C_{\text{эм}}$	8249,85
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	48495,8
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	55140,08
Итого:	C	606 540,91

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 606 540,91$ руб.

5.2.9 Расчёт прибыли

К прибыли от реализации проекта определяется, как разница между суммарными доходами и затратами на производство или приобретение, хранение,

транспортировку, сбыт. Примем стоимость одной лицензии продукта за 2400 руб. в первый год реализации. В таблице Таблица 5.8 приведена стоимость лицензии в первые десять лет реализации лицензии продукта с учётом инфляции (4%). Себестоимость проекта составила 606540,91 руб. В годы продажи лицензии продукта его затраты включают заработную плату сотрудника для обеспечения технической поддержки, а также остальные затраты (фонды, амортизация и др.).

Операционная прибыль по каждому году реализации согласно общей системе налогообложения равна выручке за вычетом затрат в текущем году:

$$\Pi_o = \Pi_v - Z_p \quad (5.12)$$

где Π_o – операционная прибыль;

Π_v – валовая прибыль (без учёта НДС 20%);

Z_p – затраты на реализацию.

Чистая прибыль составляет прибыль, которая останется после уплаты налогов (НДС 20%).

$$\Pi_{\text{ч}} = \Pi_o - \text{НДС} \quad (5.13)$$

Таблица 5.8 – Прибыль от реализации лицензии

Год	Затраты, руб.	Стоимость лицензии (проиндексированная), руб.	Количество проданных лицензий, шт.	Операционная прибыль, руб.	Чистая прибыль
0	606540,91	–	–	–	–
1	0	2 400,00	10	24 000,00	22 560,00
2	30000	2 496,00	35	57 360,00	53 918,40
3	30000	2 595,84	50	99 792,00	93 804,48
4	30000	2 699,67	66	148 178,46	139 287,75
5	30000	2 807,66	72	172 151,56	161 822,47
6	30000	2 919,97	84	215 277,23	202 360,59
7	30000	3 036,77	73	191 683,89	180 182,86
8	30000	3 158,24	78	216 342,43	203 361,88
9	30000	3 284,57	81	236 049,82	221 886,83
10	30000	3 415,95	85	260 355,61	244 734,27

5.2.10 Расчёт НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. Для текущего проекта НДС составляет $(606540,91 + 121308,18) \cdot 0,2 = 145569,82$ руб.

5.2.11 Цена разработки НИР

Цена разработки НИР равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, то есть $C_{\text{НИР(КР)}} = 606\,540,91 + 121\,308,18 + 145\,569,82 = 873\,418,91$ руб.

5.3 Оценка экономической эффективности проекта

Экономическая эффективность проекта является аспектом качества работы при его реализации. Общим принципом для оценки эффективности является сопоставление результата (эффекта) и затрат на разработку проекта. В связи с тем, что последнее является единовременным, то инвестирование проходит в нематериальные активы. Отличительными особенностями инвестиций в нематериальные активы являются:

- неразрывно связаны с инновационной длительностью;
- результаты от инвестирования содержат элементы риска и неопределённости;
- блокируют на некоторое время финансовые средства инвестора.

Инвестирование в активы предполагает расширение функциональных возможностей их объектов за счёт получения прибыли, либо достижения иного полезного эффекта.

Возникновение необходимости в оценке экономической эффективности может быть связано со следующими факторами:

- ограниченность в источниках финансирования;
- большое разнообразие направлений инвестирования средств;
- различие в отдаче инвестиций, направляемых на различные цели.

При качественном анализе используются методы математической статистики, которые позволяют радикально ограничить круг перспективных проектов, но обычно он дополняется решением проблем конкретного экономического анализа учета и количественной оценки интенсивности, применения количественных методов с расчётом ряда показателей.

Каждый из таких показателей отражает соотношение величины инвестиций в проект с адекватным им экономическим результатом.

5.3.1 Определение срока окупаемости инвестиций

Срок окупаемости инвестиций (PP) определяет продолжительность периода, через который будут получены достаточные поступления денег для возмещения инвестиционных расходов. Чем меньше будет составлять размер PP, тем эффективней будет проект.

Для определения срока окупаемости необходимо рассчитать накопленный денежный поток по каждому году.

Накопленный денежный поток отражает движение денежных средств в рамках компании, проекта или продукта. Выражается итоговым показателем с отрицательным или положительным знаком, который формируется из поступлений и платежей:

$$ACF_j = NPV - |CF_{j-1}| \quad (5.14)$$

где NPV – чистый дисконтированный доход.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1 + R)^t} \quad (5.15)$$

где n, t – количество временных периодов;

CF – денежный поток;

R – ставка дисконтирования.

В связи с тем, что основным источником инвестирования является собственные средства, а Ставка дисконтирования — это стоимость капитала для инвестора. Другими словами, это ставка процента, по которой компания-инвестор может привлечь финансовые ресурсы", то для представленной модели расчета целесообразно определить значение ставки дисконтирования равное прогнозируемому уровню инфляции (4%) на заданном периоде.

Таблица 5.9 – Накопленные денежные поступления по проекту

Год	Инвестиции	Стоимость лицензии, проиндексированная	Количество проданных лицензий	Прибыль (убыток) до налогообложения	ЧП/убыток	Чистый дисконтированный доход, NPV	Накопленный денежный поток, АСФ
0	-606 540,91	–	–	–	–	–	-606 540,91
1		2 400,00	10	24 000,00	22 560,00	21 692,31	-584 848,60
2	-30 000	2 496,00	35	57 360,00	53 918,40	49 850,59	-534 998,01
3	-30 000	2 595,84	50	99 792,00	93 804,48	83 391,84	-451 606,17
4	-30 000	2 699,67	66	148 178,46	139 287,75	119 063,75	-332 542,42
5	-30 000	2 807,66	72	172 151,56	161 822,47	133 006,27	-199 536,15
6	-30 000	2 919,97	84	215 277,23	202 360,59	159 928,51	-39 607,63
7	-30 000	3 036,77	73	191 683,89	180 182,86	136 924,16	97 316,53
8	-30 000	3 158,24	78	216 342,43	203 361,88	148 594,54	245 911,07
9	-30 000	3 284,57	81	236 049,82	221 886,83	155 894,75	401 805,82
10	-30 000	3 415,95	85	260 355,61	244 734,27	165 333,71	567 139,52

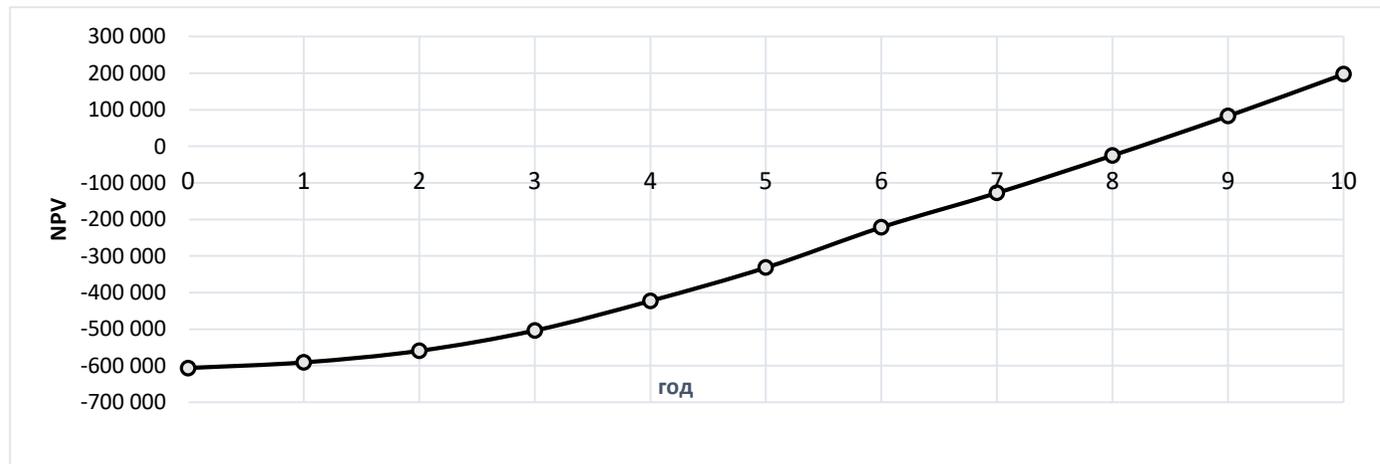


Рисунок 5.1 – Накопленный денежный поток

Из рисунка 6.2 видно, что в начале восьмого года накопленный денежный поток пересекает линию нуля и выходит в положительные значения, а значит именно в этот момент будут окуплены первоначальные инвестиционные затраты.

Для определения показателя PP используется формула 5.16 которая применяется в тех случаях, когда величины годовой чистой прибыли отличается по годам эксплуатационной стадии проекта:

$$PP = n_{цj} + \frac{\Delta ПР_{чi}}{ПР_{чj+1}} \quad (5.16)$$

где $n_{цj}$ – целое число лет, при котором накопленная сумма прибыли наиболее близка к величине инвестиций I_0 , но не превосходит её;

$\Delta ПР_{чi}$ – непокрытая часть инвестиций по истечении $n_{цj}$ лет реализации проекта;

$ПР_{чj+1}$ – прибыль за период, следующий за $n_{цj}$.

Общая сумма инвестирования в год разработки составила:

$$PP = 6 + \frac{39\,607,63}{136924,16} = 6,289 \text{ (лет)}$$

Глава 6 Социальная ответственность

Одним из основных направлений в метеорологии является изучение свойств атмосферы и протекающих в ней физических процессов. Такие физические явления и процессы всегда взаимосвязаны, а их сочетания и комбинации подвержены сложным изменениям. Сочетание всех атмосферных явлений и процессов в исследуемой, либо наблюдаемой местности в определённый или короткий промежуток установленного времени характеризует общее состояние воздуха или погоду. Изучение строения и свойства атмосферы, а также возникающие в ней процессы и явления, позволяют метеорологам разрабатывать и совершенствовать разнообразные методы прогнозирования или предсказания погодных условий. Задача всестороннего изучения свойств атмосферы решается путём анализа и обобщения наблюдений за рядом метеорологических элементов, а также характером их изменений.

Результатом синоптических исследований являются измерения метеопараметров, которые требуют предварительную обработку перед подачей на вход расчётной модели. Связано это в первую очередь с присутствием в приборной составляющей аддитивных либо мультипликативных погрешностей, что в свою очередь приводит к возникновению флуктуаций в выходном потоке данных. В результате предварительной обработки данных используется расчётный цикл подготовки метеорологических параметров, основанный на выборе и применении методов цифровой КИХ- и БИХ-фильтрации (с использованием наиболее подходящей импульсной характеристики), вейвлет преобразований, или адаптивной пространственной фильтрации.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Единство и дифференциация правового регулирования трудовых отношений более всего проявляется, как известно, в соотношении общих и специальных норм [14]. Общие нормы распространяются на всех работников, выражая единство трудового права, его принципы, права и обязанности субъектов, а специальные нормы действуют в отношении отдельных категорий работников, особенности правового регулирования труда которых обусловлены теми или иными основаниями

6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

К работе допускаются лица не моложе 14 лет, не имеющие противопоказаний по здоровью, прошедшие инструктаж по технике безопасности и пожарной безопасности.

Продолжительность рабочего времени для работников, не достигших возраста 16 лет, не может превышать 24 часов в неделю, для работников в возрасте от 16 до 18 лет – 35 часов в неделю [15].

По заявлению женщины ей предоставляется отпуск по уходу за ребенком до достижения им возраста трех лет. Порядок и сроки выплаты пособия по государственному социальному страхованию в период указанного отпуска определяются федеральными законами. На период отпуска по уходу за ребенком за работником сохраняется место работы [16].

Работодатель обязан отстранить от работы или не допускать к работе работника, являющегося иностранным гражданином или лицом без гражданства, в случае окончания срока действия разрешения на временное проживание в Российской Федерации, за исключением случаев, установленных федеральными законами или международными договорами РФ [17]. Также от работы могут быть отстранены лица с окончанием срока действия вида на жительство РФ.

6.1.2 Организационные мероприятий при компоновке рабочей зоны

Рабочее место, а также взаимное расположение его элементов должно в полной мере соответствовать физическим, психологическим и антропометрическим требованиям. При организации рабочего места необходимо соблюдать следующие условия: оптимальное и компактное размещение оборудования, входящего в состав рабочей точки, свободное рабочее пространство, позволяющее осуществлять все необходимые манипуляции и перемещения.

К эргономическим аспектам проектирования рабочих мест относят: высоту рабочей поверхности, размер пространства под ноги, требования к расположению и наличию вспомогательных элементов на рабочем месте (подставка для документов, параметры рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость рабочей зоны и пр.) [18].

Большое внимание стоит уделить правильной рабочей позе пользователя. При выполнении работ в положении сидя рекомендуется сохранять положения определённых рабочих поз, а именно:

- плечи расположены вертикально, предплечье - горизонтально;
- отсутствует работы по сгибанию запястий;
- позвоночник находится в вертикальном расположении;
- угол между ступнёй и подколенной части ноги прямой;
- отсутствует скручивание верхней части туловища;
- линия зрения находится между горизонталью и 60° ниже;
- положение головы не должно превышать наклона более 20° ;
- локти – под углом $80^\circ \dots 100^\circ$;
- кисти рук следует располагать в горизонтальном положении.

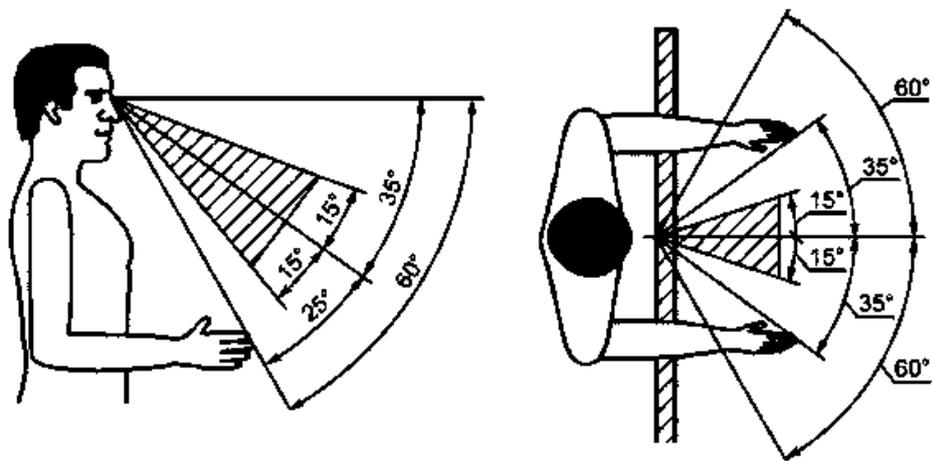


Рисунок 6.1 – Рабочая поза в положении сидя.

При работе за видеодисплеем пользователь должен иметь возможность повернуть его таким образом, чтобы иметь возможность сохранить рабочую позу. Все механизмы настройки устройств должны быть понятны, а регулировка должна быть легко осуществима. В случаях, когда монитор имеет низкое качество изображения, например, видны пиксели матрицы, наблюдаются мелькания, расстояние от глаз до экрана делают больше (около 700 мм.).

Положение экрана определяется:

- расстоянием считывания (0,6...0,7 м.);
- углом обзора ($< 40^\circ$).

В случаях если в качестве дополнительного оборудования на рабочем месте представление основной информации производится на общем видеодисплее, то он должен быть размещён напротив рабочего стола и за его пределами. Вся информация, выводимая на широкоформатный видеодисплей должна, находится в пределах видимости оператора из удобного рабочего положения [19]. Информация нижней части видеодисплей должна быть видимой. Для достижения такого результата использована формула:

$$H_1 = H_c - (D + d) \frac{H_e - H_c}{D_c + d} \quad (6.1)$$

где H_1 – наименьшая высота, с которой может быть виден дисплей;

H_e – проектное положение глаз;

H_c – высота стойки;

D – расстояние по горизонтали между передней кромкой стола и поверхностью панели;

D_c – глубина стойки;

d – расстояние между положением глаз и передней кромкой стола.

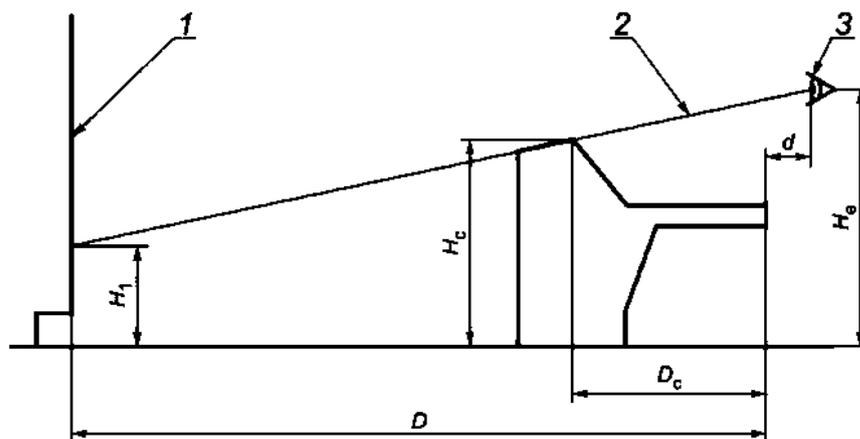


Рисунок 6.2 – Высота рабочего стола и линия взгляда поверх него; 1 – панель; 2 – линия взгляда; 3 – проектное положение глаз.

6.2 Производственная безопасность

Текущая работа связана с проведением анализа и выполнением разработки проектирования алгоритмов фильтрации для обработки временных рядов метеорологических данных. В таблице 6.1 приведён перечень опасных факторов, которые присутствовали в ходе выполнения исследования, а также могут проявлять себя и при дальнейшем эксплуатировании рабочих алгоритмов.

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные факторы.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разраб отка	Изгото вление	Эксплу атация	
повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов		+	+	СП 60.13330.2016
повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны	+	+	+	СП 60.13330.2016

Продолжение таблицы 6.1 – Возможные опасные и вредные факторы.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
повышенная или пониженная влажность воздуха	+	+	+	СП 131.13330.2012
искусственное освещение	+	+	+	СП 52.13330.2016
возможность возникновения пожара	+	+	+	СП 12.13130.2009

6.2.1 Температура поверхности оборудования

Одним из возможных источников возникновения повышенной температуры оборудования при выполнении проекта является задействование в ходе работы вычислительной техники.

Высокая температура оборудования может оказывать отрицательное воздействие на здоровье человека. Работа в таких условиях сопровождается интенсивным потоотделением, что в первую очередь может привести к обезвоживанию человеческого организма, потере минеральных солей, витаминов, также вызывает изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы, влияет на частоту дыхания [20]. В таблице Таблица 6.2 приведена допустимая температура оборудования.

Таблица 6.2 – Температура поверхности оборудования.

Материал	Контактный период до		
	1 мин	10 мин.	8 час и более
Пластик	60 °С	48 °С	43 °С

При контакте с оборудованием с температурой выше 30-35 °С большая часть теплоты отдаётся путём испарения с поверхности кожи. В таких условиях организм теряет определённое количество влаги, а вместе с ней и соли, необходимые для жизнедеятельности организма. Для избежания наступлений момента обезвоживания или ухудшения состояния организма рекомендуется пить подсоленную воду. В качестве основных мероприятий по защите от

тепловыделения нагрева оборудования проводится организация рационального распорядка дня, а также поддержка питьевого режима и питания.

6.2.2 Температура окружающей среды

Воздействие высокой температуры окружающей среды в сочетании с влажностью, может приводить к значительному накоплению тепла в организме. Длительное нахождение в подобных условиях создаёт риск возникновения гипертермии. Также длительное нахождение в подобных условиях может привести к тепловому поражению.

При восьмичасовом рабочем дне температура в офисном помещении должна составлять 23-25 °С в теплое время года и 22-24 °С в холодное (при относительной влажности воздуха 40-60%). Отклонение от нормы допускается лишь на 1-2 °С.

В качестве основных мероприятий по профилактики проводится формирование питьевого режима. Потребление воды должно быть достаточным для утоления жажды. При длительном нахождении в условиях высоких температур желательно ограничить приём жирной пищи, увеличив калорийность ужина и завтрака.

Открываемые окна и проёмы могут использоваться для осуществления постоянного циркулирования приточного воздуха или циркулирования вытяжной вентиляции [7]. В связи с тем, что в помещении не используются специальные системы отсоса воздуха, то для обеспечения нормируемого удельного расхода приточного воздуха расчет требуемого количества приточного воздуха следует определять по формуле:

$$L_{n,норм} = N \cdot m \quad (6.2)$$

где N – число человек, рабочих мест, единиц оборудования;

m – нормируемый удельный расход приточного или удаляемого воздуха, м³/ч, на одного человека.

В рассматриваемом помещении пребывает три человека. Согласно СП 118.13330.2016 минимальный воздухообмен должен быть не менее $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одного человека, тогда количество приточного воздуха следует принять $L_{n,\text{норм}} = 3 \cdot 20 = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$.

6.2.3 Влажность воздуха

Чем выше температура воздуха, тем выше его способность поглощать влагу в помещении. Искусственный нагрев воздуха приводит к удалению из него влаги, что приводит к пересушиванию помещения.

При излишне влажном воздухе в помещении на холодных гладких поверхностях может образовываться конденсат. За счёт электропроводности примесей в воде есть риск получения электротравм, а также образования замыканий в участках электронной цепи [21]. От высокой влажности могут серьёзно пострадать книги, потеряв внешний товарный вид. Кроме того, влажность обеспечивает питательную среду для размножения микроорганизмов и плесени, что ведёт не только к ухудшению санитарно-гигиенического состояния помещения, но и к разрушению строительных конструкций.

Среди причин высокой влажности можно отнести: неправильная работа вентиляции; скопление воды из-за протечки в трубах; нарушение теплового баланса из-за недостатков в системе отопления.

Если влажность воздуха повышается, человек замечает повышение температуры тела, учащение пульса. Низкой влажностью воздуха может приводить к высыханию кожи. В таблице 6.3 представлены нормы влажности в соответствии со СанПиН 2.1.2.1002-00.

Таблица 6.3 – Оптимальные и допустимые нормы относительной влажности.

Помещение	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %
Холодный период года		
Рабочее помещение	20-22(24-18)	30-45(60)
Тёплый период года		
Жилая комната	22-25(20-28)	30-60(65)

Чтобы решить проблему, связанную с повышенной или пониженной влажностью воздуха, необходимо в первую очередь определить причину, при которой происходит отклонение показателя от нормы. Для регулирования влажности в помещении можно прибегнуть к использованию осушителей воздуха при высокой влажности и увлажнителей при низкой.

6.2.4 Искусственное освещение

Рабочее освещение организуется для создания комфортных условий видения на рабочих местах при выполнении трудовых процессов. Согласно нормам, СанПиН рабочее место разработчика должно освещаться естественным, либо искусственным освещением [22].

Для освещения помещений искусственным светом прибегают к использованию газоразрядных или светодиодных ламп. Использование ламп накаливания для обеспечения общего освещения допустимо только в том случае, если нет возможности или технико-экономической нецелесообразности использования лампы другого типа.

Рабочая зона должна быть освещена так, чтобы в процессе работы:

- не ощущалось раздражение глаз;
- имелось хорошее видение;
- прямые лучи источника света не попадали в глаза;
- спектральный состав света, создаваемого искусственным источником освещения, должен быть приближен к солнечному;
- уровень освещённости должен быть таким, чтобы соответствовать гигиеническим нормам.

Согласно требованиям, к освещению помещений по СП 52.13330.2016, зрительная работа относится к разряду высокой точности со средним контрастом и общей системой освещения. В таблице 6.4 приведены нормы освещённости при искусственном освещении.

Таблица 6.4 – Нормы освещённости при искусственном освещении.

Характеристика зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Освещённость, лк
				Искусственное освещение
Высокой точности	в	от 0.3 до 0.5	IV	300

Для определения требуемой освещённости воспользуемся расчётом по методу коэффициента использования светового потока. В таком случае основной величиной, которую нужно вычислить, становится световой поток светильника:

$$F_{\text{расч.}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot \text{КЗ} \cdot z}{N \cdot \eta} \quad (6.3)$$

где $E_{\text{н}}$ – нормированная степень освещённости, лк;

S – площадь помещения, м²;

КЗ – коэффициент запаса;

z – коэффициент неравномерности освещённости;

N – количество светильников;

η – коэффициент использования светового потока.

Согласно СанПиН 2.21/2.1.1/1278-03 нормированная степень освещённости для рассматриваемого помещения составляет 300 лк, что соответствует норме для помещения офисного типа. Площадь рабочего помещения равна 19,25 м². Коэффициент запаса зависит от степени запылённости помещения. В связи с тем, что в помещении используются светодиодные лампы, коэффициент запаса согласно СНиП 23-05-2010 при отсутствии в помещении паров кислот и щелочей составляет КЗ = 1,5.

Коэффициент неравномерности освещения для светодиодных или люминесцентных ламп принимаем, за 1,1 [23].

Для определения коэффициента использования светового потока необходимо узнать индекс помещения, а также, какой процент светового потока будет отражать поверхность стен помещения.

Индекс помещения находим согласно формуле:

$$I = \frac{S}{(A + B) \cdot (h - h_1)} \quad (6.4)$$

где S – площадь помещения, m^2 ;

A, B – длина и ширина, m ;

h – высота потолка, m ;

h_1 – высота подвеса, m

Для текущего помещения индекс равен:

$$I = \frac{19,25}{(3,5 + 5,5) \cdot (3,5 - 0,5)} = 0,71$$

Стены помещения окрашены в бежевый цвет, пол – тёмный, потолок – свежепобеленный. Следовательно, согласно справочной таблице использования светового потока [10] процент, который отразит соответствующая поверхность помещения составит $\rho_c = 50\%$, $\rho_p = 10\%$, $\rho_{\text{п}} = 70\%$. В помещении используются светильники "Армстронг Д" с косинусной кривой силы света. В связи с учётом индекса помещения и коэффициентов отражения стен, согласно СНиП II-4-79 коэффициент использования светового потока равен 47%.

Подставив все полученные значения в формулу 3, получаем значение светового потока ламп:

$$F_{\text{расч.}} = \frac{300 \cdot 19,25 \cdot 1,5 \cdot 1,3}{2 \cdot 0,47} = 11980 \text{ лм.}$$

По рассчитанному световому потоку выбирается светильник (лампа), поток которого не должен отличаться от $F_{\text{расч.}}$ больше чем на $-10...+20\%$. При невозможности выбора с таким приближением корректируется число светильников (ламп).

6.2.5 Возникновение пожара

Причиной возгорания может быть:

- короткое замыкание электрической проводки помещения;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- неисправность электрических приборов.

Возникновение пожара можно предотвратить путём проведения специальных инженерно-технических мероприятий при проектировании или эксплуатации электрического оборудования, установок, а также необходимом соблюдении установленных правил пожарной безопасности.

Согласно установленным нормам по техническому проектированию, в зависимости от характеристики используемых веществ, а также их количества, рабочие помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д [11].

При возникновении пожарной ситуации на территории предприятия действия всех работников должны быть организованными и направленными на оповещение о случившемся ответственным лицам, с последующей эвакуацией рабочего персонала. Для оповещения людей о случившемся пожаре должны использоваться специальные тревожные или звуковые сигналы.

По нормам пожарной безопасности СанПиН 21-01-97 к опасным факторам пожара, воздействующим на человека и имущество, относятся:

- пламя и искры;
- тепловой поток;
- повышенная температура окружающей среды;
- повышенная концентрация токсичных продуктов горения;
- пониженная концентрация кислорода.

Для минимизации воздействия перечисленных факторов используются специальные средства по защите органов дыхания индивидуального назначения. В качестве основных профилактических мер применяются специальные жидкости, краски, штукатурки которыми пропитываются материалы из дерева.

6.3 Экологическая безопасность

Задействование в проектируемом решении вычислительных средств таких как компьютер, МФУ и др., а также их утилизация может негативно сказываться на окружающей среде. К основным факторам оказывающих отрицательное влияние на экологию можно отнести следующее:

Нагрев оборудования. Работающий компьютер может сильно нагреваться, тем самым демонизируя окружающую среду уменьшая влажность воздуха.

Наличие химикатов. При разработке вычислительной техники в производстве используется большое количество химикатов. Химикаты используются при производстве монтажных плат, центральных процессоров и мониторов. Используемые химикаты ставят под угрозу здоровье сотрудников фабрик, а также поражают питьевые водоёмы вокруг свалок.

Утилизация отходов. Утилизация компьютеров и другой оргтехники должна осуществляться в несколько этапов, а именно разборки устройства на детали, сортировка полученных компонентов по видам вторичного сырья и отправка на переработку. При наличии в оборудовании люминесцентных ламп последние должны быть утилизированы на специальных полигонах токсичных отходов.

В качестве основных конфронтующих мер рекомендуется как можно чаще проводить влажную уборку помещения, проветривать его. Ставить открытую ёмкость с водой для увеличения влажности воздуха.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожарная безопасность представляет комплекс мер направленных на защиту имущества на всех стадиях его жизненного цикла и людей от возникновения пожара. К основным системам пожарной безопасности относят системы направленных на предотвращение пожара, а также использование

противопожарной защиты, с включением организационно-технических мероприятий.

При использовании в работе электронного вычислительного оборудования возникновение пожара может быть по причинам электрического воздействия.

Среди причин возникновения пожара электрического характера можно выделить следующие: короткое замыкание, искрение и электрические дуги, перегрузка по току, статическое электричество.

Во избежание причин возникновения пожаров в рабочем помещении необходимо проводить следующие мероприятия:

- а) применять в работе только проверенное и исправное оборудование;
- б) периодическое повторение инструктажей по пожарной безопасности;
- в) рассмотрение вопросов, связанных с усилением пожарной безопасности;
- г) назначение ответственного лица за пожарную безопасность;
- д) отключение электрооборудования, освещения по окончании работ;
- е) организация специальных мест для курящих;
- ж) содержание пожарных систем и эвакуационных выходов в доступном состоянии.

Для локализации и подавления загорания на начальной стадии используются средства пожаротушения первичной категории. Такие средства в случае возникновения возгорания применяются в первую очередь и до прибытия пожарной команды.

Для тушения токоведущих линий и различных электроустановок применяется переносной, порошковый или закачиваемый огнетушитель. Тушение горящего электрооборудования производится на расстоянии не менее одного метра (расстояние от сопла огнетушителя до токоведущих частей).

Рабочее помещения должно соответствовать требованиям пожарной безопасности. В здании необходимо наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых огнетушителей с проверенным клеймом и не истёкши сроком годности, а также плана эвакуации.

Вывод

В данном разделе были рассмотрены основные нормативные аспекты соблюдения прав работников на труд, выполнения регламентированных правил по организации безопасности труда, промышленной безопасности. Установлено, что рабочее место исследователя удовлетворяет требованиям безопасности и гигиены труда во время реализации проекта, а вредное воздействие объекта исследования на окружающую среду не превышает допустимых норм.

В рабочем помещении установлены два светильника ЛТТ Армстронг 600x600 мощностью 60 Вт. и световым потоком в 6120 лм.

Рассчитанное значение светового потока составило 11980 лм, что при коэффициенте использования светового потока $\eta = 0.47$ и площадью комнаты $S = 19,25 \text{ м}^2$ даст освещённость $E = 0,47 \cdot \frac{11980}{19,25} = 292 \text{ лк}$. Согласно СанПиН 2.21/2.1.1/1278-03 освещённость для офисных помещений при общем освещении составляет 300 лк. С учётом того, что рассчитанная освещённость не должна отличаться от нормы более чем на 10% можно сделать вывод, что найденный световой поток, падающий на участок поверхности единичной площади, обеспечивает требуемую освещённость рабочего помещения. Для обеспечения требуемого светового потока помещение должно быть оборудовано двумя светильниками: $N = \frac{11980}{6120} = 2 \text{ шт.}$ со световым потоком не ниже 6000 лк. Количество установленных светильников в рабочем помещении, что полностью удовлетворяет нормам освещённости.

Список литературы

1. Лоцманов А.А. Разработка и исследование структур адаптивных систем нелинейных и рекурсивных цифровых фильтров на основе метода наименьших квадратов для повышения показателей качества различных радиотехнических устройств: дис. – Рязань, 2004. – 182 с.
2. Цифровая обработка сигналов // Лаборатория информационных технологий. URL: http://www.itlab.unn.ru/archive/lectures/DSP/DSP_Lectures.pdf (дата обращения: 19.12.2019).
3. Система климатического мониторинга. // IMCES SB RAS 2017. URL: <http://mon.imces.ru> (дата обращения: 19.11.2019).
4. Л. Хаттон. Обработка сейсмических данных [Текст]: теория и практика / М. Уэрдингтон, Дж. Мейкин ; пер. с англ. А. Л. Малкина. - М: Мир, 1989. - 214 с.
5. Герман, Д. Я. Конспект лекций по курсу «Цифровая обработка сигналов» / Д. Я. Герман. - М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. - 174 с.
6. Голд, Б. Цифровая обработка сигналов / Голд Б., Рейдер Ч. - Пер. с англ. под ред. А. М. Трахтмана. - М. : Советское радио, 1973. - 368 с.
7. И. Добеши. Десять лекций по вейвлетам. Пер. с англ. — Ижевск, НИЦ регулярная и хаотическая динамика, 2001.
8. К. Чуи. Введение в вэйвлеты. — М.: Мир, 2001.
9. Н. Астафьева. Вейвлет анализ: основы теории и примеры применения. — Успехи Физических Наук, 166 (1996), № 11, с. 1145
10. В. Воробьев, В. Грибунин. Теория и практика вейвлетпреобразования. — С.-Пб.: Издательство ВУС, 1999.
11. Д. Галягин, П. Фрик. Адаптивные вейвлеты (алгоритм спектрального анализа сигналов с пробелами в данных). — Математическое моделирование систем и процессов, 1996, № 6, с. 10.
12. И. Дремин, О. Иванов, В. Нечитайло. Вейвлеты и их использование. — Успехи физических наук, 2001, т. 171, № 5, с. 465–561.

13. Г. Ососков, А. Шитов. Сравнительные характеристики возможностей вейвлетов первого и второго поколения. — Proceedings of 2-nd international conference МТСР-2000. Dubna, 2000, p. 20.

14. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) // Собрание законодательства РФ. - 07.01.2002. - № 1 (ч. 4). - Ст. 11.

15. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) // Собрание законодательства РФ. - 07.01.2002. - № 1 (ч. 1). - Ст. 92.

16. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) // Собрание законодательства РФ. - 07.01.2002. - № 1 (ч. 1). - Ст. 256.

17. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) // Собрание законодательства РФ. - 2014. - № 49 (ч. 4). - Ст. 327.5.

18. ГОСТ Р ИСО 9241-5-2009. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов [Текст]. – Москва: Изд-во стандартов, 2010.

19. ГОСТ Р ИСО 11064-3-2015 Эргономическое проектирование центров управления [Текст]. – Москва: Изд-во стандартов, 2016

20. СНиП 60.13330. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Введ. 17-06-2017. – М. : АО "Кодекс". – 54 с.

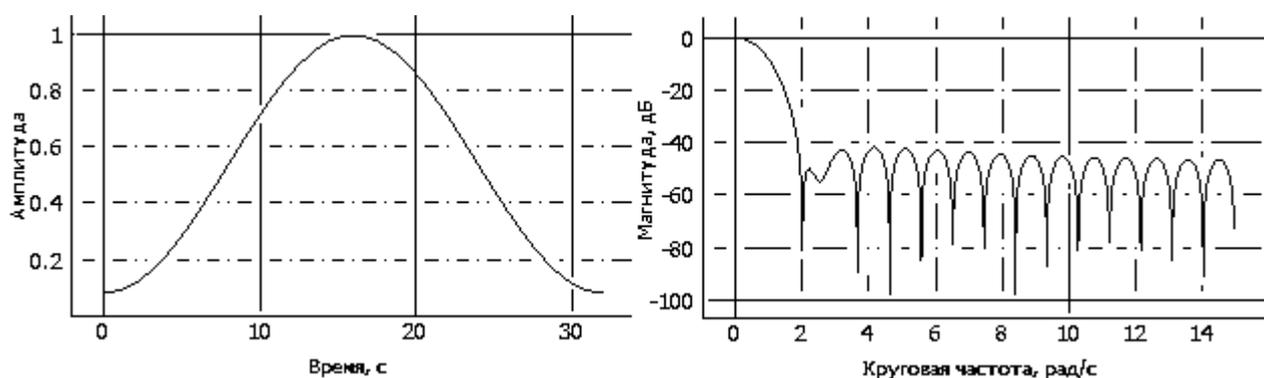
21. СНиП 131.13330.2012. Строительная климатология. – Введ. 01-01-2013. – М. : "Кодекс". – 120 с.

22. СНиП 131.13330.2012. Естественное и искусственное освещение. – Введ. 08-05-2017. – М. : АО "Кодекс". – 145 с.

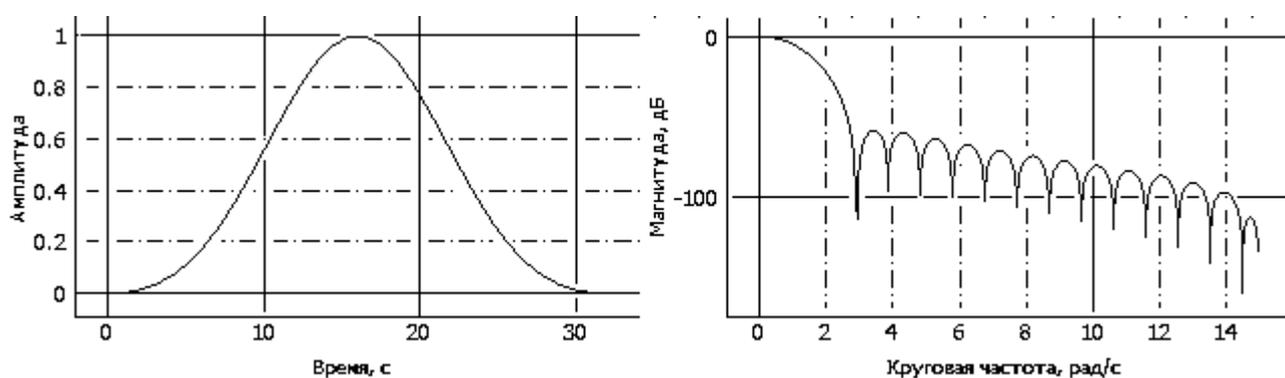
23. Метод коэффициента использования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.websor.ru/metodkoeffi.html> (Дата обращения: 01.06.2020).

24. СНиП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – Введ. 01-05-2009. – М. : АО "Кодекс". – 84 с.

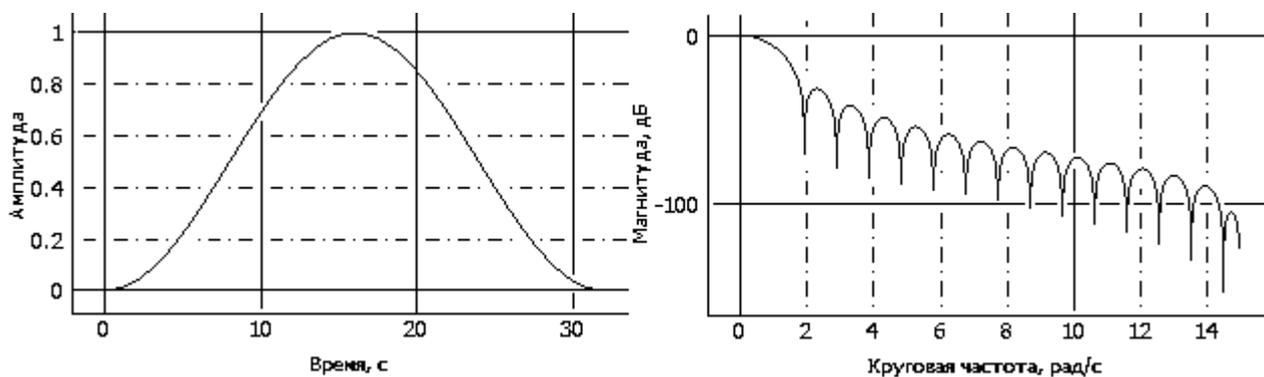
Приложение А



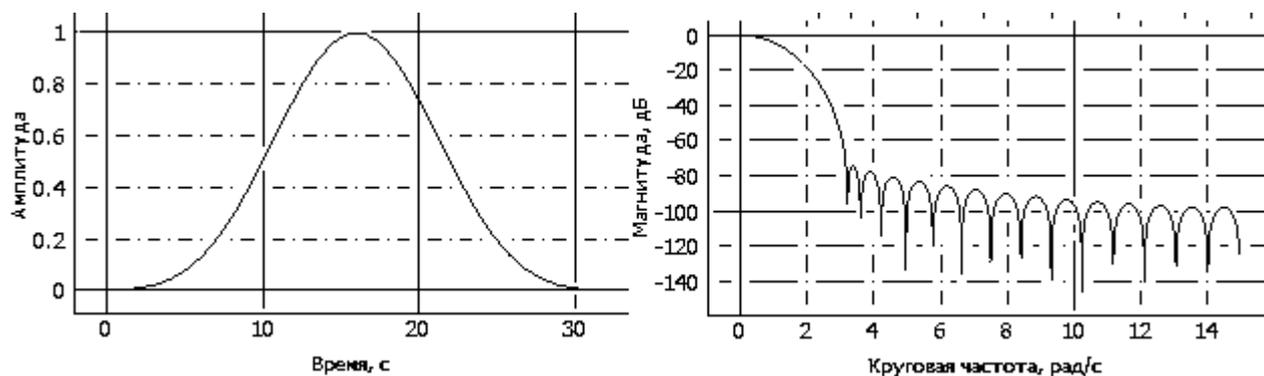
Окно Хемминга



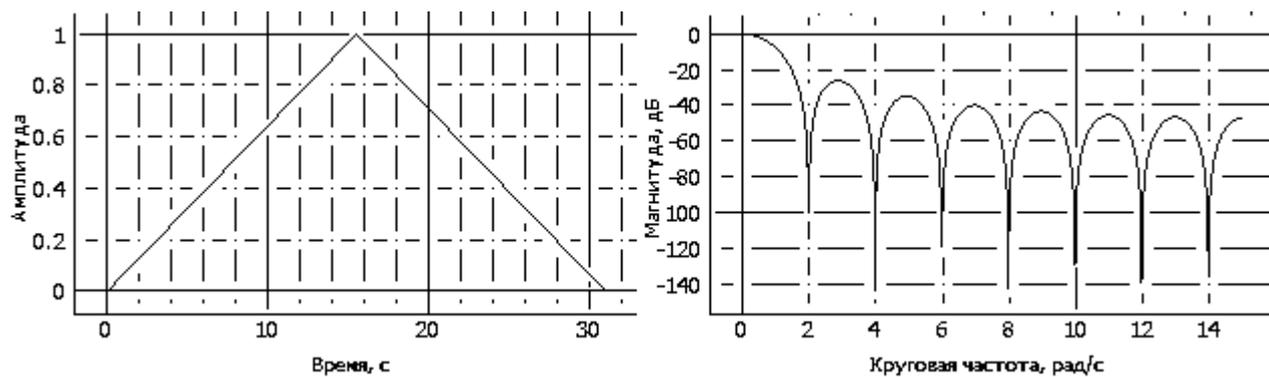
Окно Блэкмана



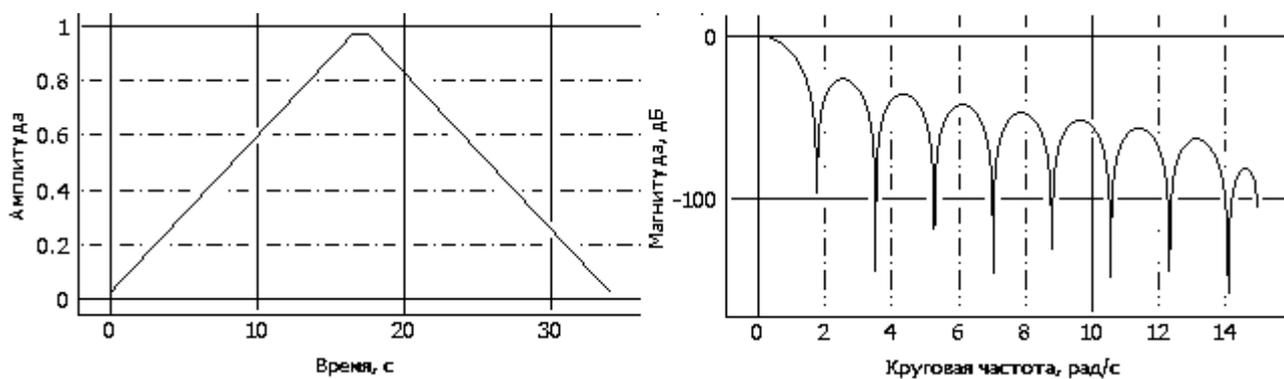
Окно Хеннинга



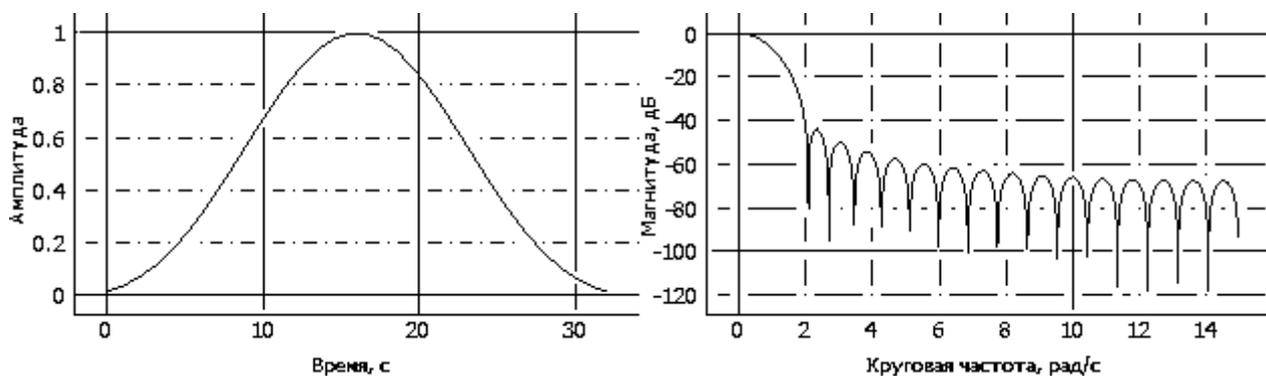
Окно Кайзера



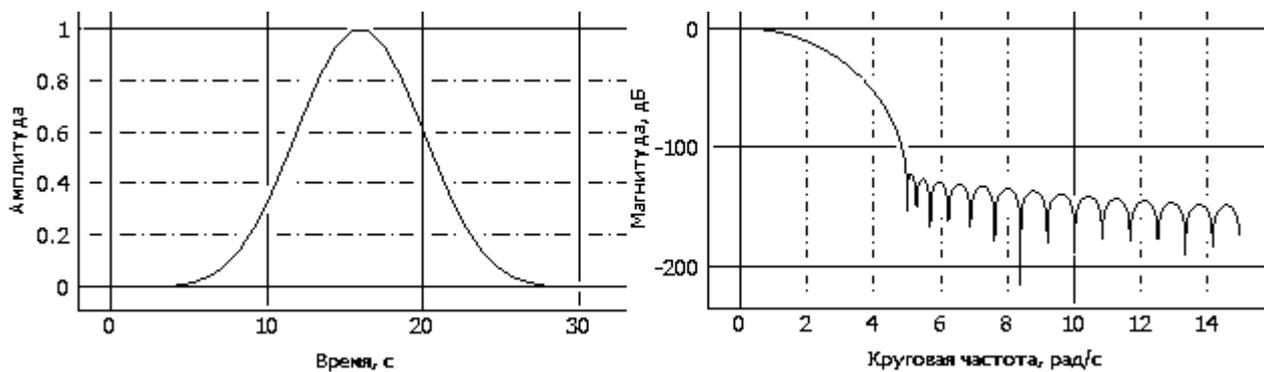
Окно Бартлета



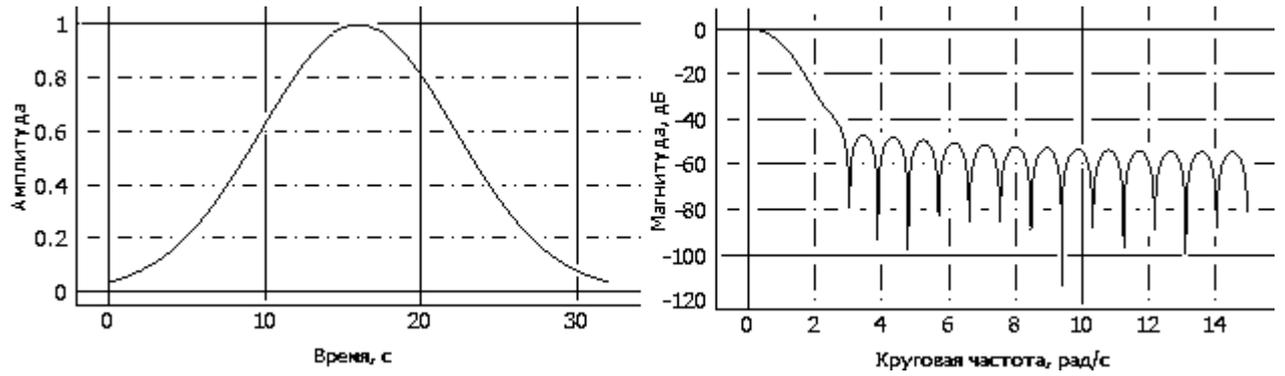
Треугольное окно



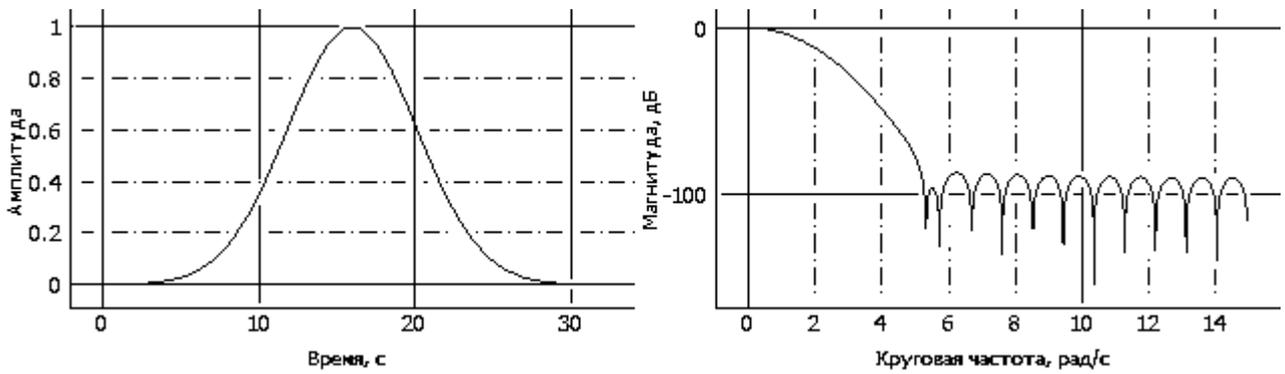
Окно Кайзера-Бесселя ($\beta = 6$)



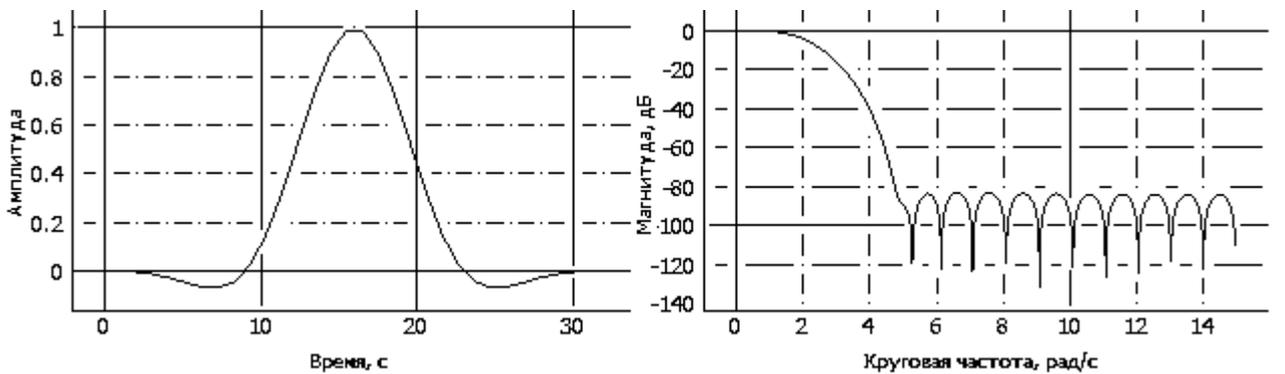
Окно Кайзера-Бесселя ($\beta = 16$)



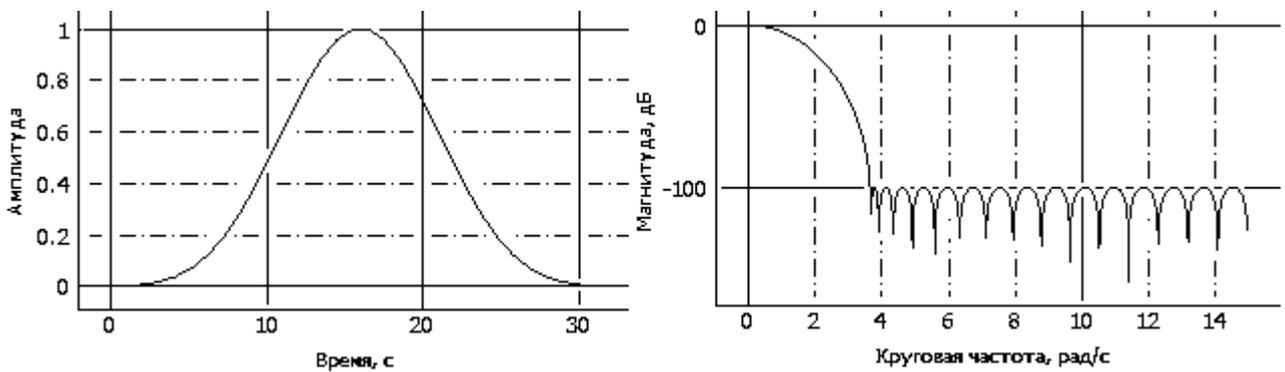
Окно Гаусса ($\beta = 6$)



Окно Гаусса ($\beta = 4$)

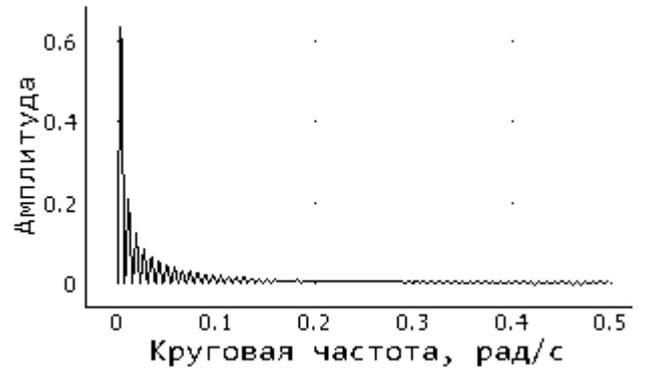
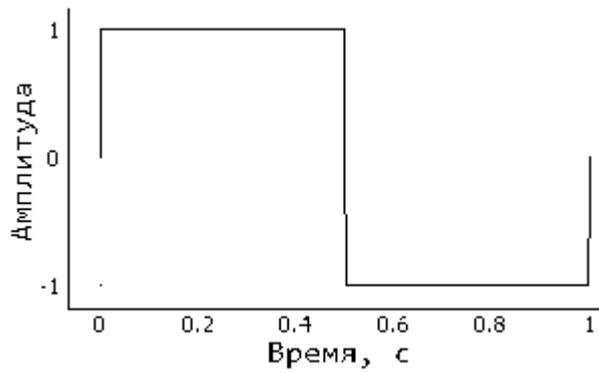


Окно с плоской вершиной

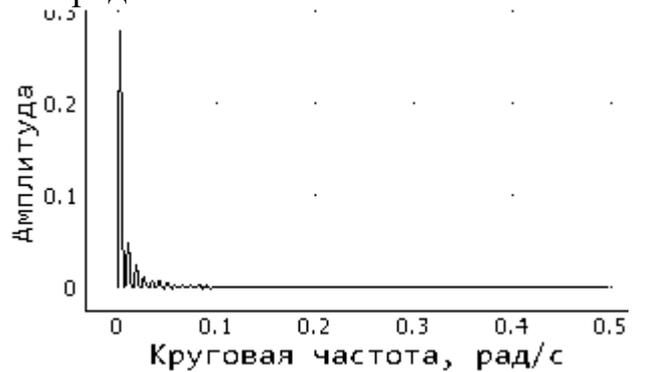


Окно Дольфа-Чебышёва

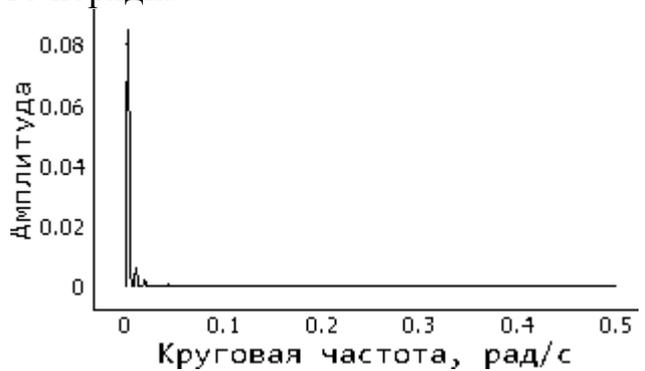
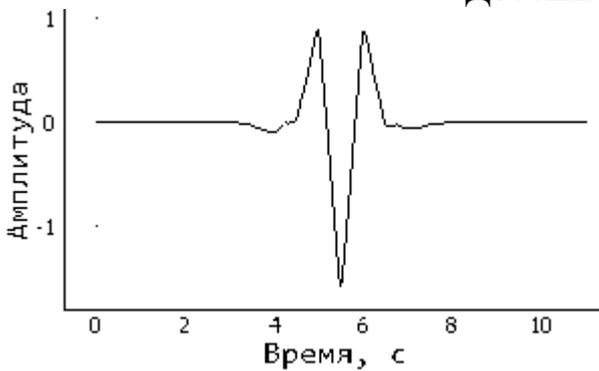
Приложение Б



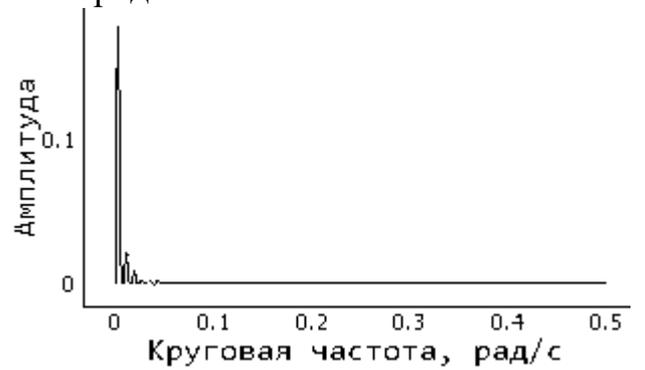
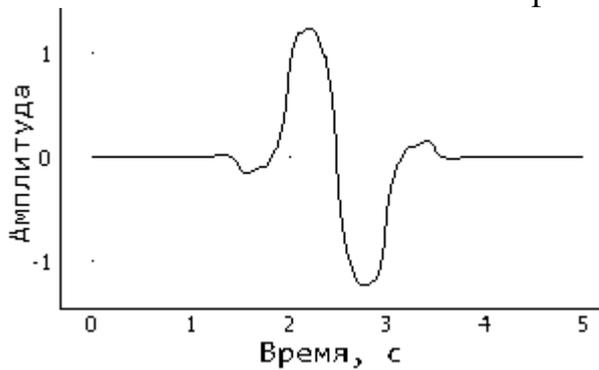
Хаара 1-го порядка



Добеши 2-го порядка



Койфлет 2-го порядка



Биортогональный 1.3-го порядка

Приложение В

Раздел 1

RESEARCH OF SEARCH ALGORITHMS WHEN PROCESSING NOISY SIGNALS

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8BM82	Феклин Семен Федорович		

Консультант школы отделения (НОЦ) ИШИТР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ботыгин И. А.	к. техн. наук		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) ИШИТР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Аксёнова Н. В.	к.филол.н.		

Introduction

The daily use of digital technology in various surveillance and monitoring systems often involves the acquisition and processing of large volumes of data. Functioning of technical systems in the event of any degradation often leads to faulty or inoperable states, and as a result, to instability in the performance of the required tasks. One of the problems of faulty work of the equipment is occurrence of fluctuations in an output data stream that is caused by superposition on a useful signal of additive, or multiplicative hindrances. One of the approaches to improve measurement reliability is the use of different filtering algorithms [1, 2]. If frequency spectra of the signal and interference are different, with the use of frequency filters it is possible to achieve a significant increase in the signal/interference ratio.

Traditional Fourier analysis is able to show signal behavior in the frequency domain, leaving the question of localizing the different components of the signal in time open. Today, there are many approaches known to modify the Fourier transform based on the window transform that partially eliminate this deficiency. Without overlapping the importance of the Fourier analysis, wavelet methods effectively complement and sometimes even replace traditional methods of data processing. The results obtained with the help of wavelet transformation are more informative and provide an opportunity to process such data features that are difficult to analyze with the traditional approach.

Comparisons between the possibilities offered by traditional and new processing approaches are widely covered in the literature. First of all, it is necessary to highlight the works of Dobeshi [5], Chui [20], where the issues related to wavelet analysis are most extensively covered. Works [7, 12] are devoted to different approaches to signal processing when using wavelet analysis.

1 Fourier Transform and Spectral Analysis

A data set spectrum is a set of sinusoidal waves that combines to provide an initial signal in the time domain. The spectrum itself is discrete, i.e. it is equal to the sum of harmonics whose frequencies differ by the frequency of the first harmonic $\omega_1 = 2\pi/T$. Examples of signal spectrum acquisition are Fourier transform, power spectrum, wavelet transform.

The Fourier transform is a mathematical operation that makes it possible to transform a function from time to time into frequency components by representing this function or a data set as a combination of trigonometric functions such as sine and cosine. In other words, the Fourier transform (FT) allows any periodic function to be represented as a sum of individual harmonic components, where sines and cosines with different amplitudes (A), periods (T) and frequencies (ω) are presented.

1.1 The Fourier range and integral

The decomposition of functions to obtain the series and the Fourier integral is the basis for linear and nonlinear signals.

A Fourier series is called a trigonometric series, which is an image of a periodic sum of sinusoids, with finite amplitudes. The Fourier series has an infinite number of terms, but at numerical computation the number of terms of this series always remains finite and equals to the number of values of the function.

Let the function $f(x)$ be integrated at the interval $[-\pi, \pi]$. Let us arrange it into a Fourier series:

$$f(x) = \sum_k [a_k \cos(kx) + b_k \sin(kx)] \quad (1.1)$$

where $k = 0, 1, 2, 3, \dots$;

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(kx) dx, \quad b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(kx) dx - \quad \text{Fourier coefficients.}$$

This is the classic representation for the Fourier series. For convenience, you can record such a series in a complex form using the Euler's formula:

$$e^{ikx} = \cos kx + i \sin kx, e^{-ikx} = \cos kx - i \sin kx \quad (1.2)$$

From the formula (1.2) we get that:

$$\cos kx = \frac{1}{2} (e^{ikx} + e^{-ikx}), \sin kx = \frac{1}{2i} (e^{ikx} - e^{-ikx}) \quad (1.3)$$

By substituting these expressions in the Fourier series (1.1) and making additional transformations, we obtain the representation of the Fourier series in a complex form with $T = 2\pi$ (1.4).

$$f(x) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_k e^{ikx} \quad (1.4)$$

where $C_k = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) e^{-ikx} dx.$

In the case when the function $f(x)$ is set on the entire numeric line, that is to say is not periodic, it can be decomposed into a Fourier integral. The Fourier integral is obtained at the limit transition from the Fourier series, when the period T_k tends to infinity (1.5). The Fourier integral is derived from a formula for the Fourier series (1.6). The Fourier integral is understood as a trigonometric series representing a non-periodic function by the sum of infinitely large number of sinusoids whose amplitudes are infinitely small, and the arguments of the neighboring sinusoids differ by infinitely small values.

$$q(k) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(x) \cdot \exp(-ikx) dx \quad (1.5)$$

$$F(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(k) \exp(ikx) dk \quad (1.6)$$

The mathematical meaning of the Fourier transform is to represent the initial signal $y(x)$ as an infinite sum of sinusoid species $F(\omega) \cdot \sin(\omega x)$. The $F(\omega)$ function is the Fourier transform or the Fourier spectrum of a signal. The reverse Fourier transform converts the $F(\omega)$ spectrum to the original $y(x)$ signal.

In practice, when processing continuous signals, their digital representation is used, therefore, the integral is replaced by the sum of the size of the duration of the signal, which is equal to the number of its counts N . The Fourier transform for digital signal readings is called a discrete Fourier transform and is recorded as follows:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) e^{-\frac{2\pi i}{N} kn} = \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \cdot W^{-nk} \quad (1.7)$$

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{\frac{2\pi i}{N} kn} = \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \cdot W^{nk} \quad (1.8)$$

where N is the number of decomposition components, the number of measured signal values for the period;

n – the reference number of the sample signal, $n = 0, 1, \dots, N - 1$;

k – harmonic number of the conversion component;

T – time period during which the input data were taken;

$W = e^{-\frac{2\pi i}{N}}$ – rotary multiplier.

Calculation of the Fourier transform by its standard formula involves a large number of addition operations. To reduce the computation time of discrete Fourier transform calculation, a fast Fourier transform (FFT) is used. The basic idea of the FFT is to divide the original N -dimensional sequence of $x(n)$ at $n = 0, \dots, N$ into parts. In this case, you can calculate the FFT for each part separately, and then sum up with the rest of the parts and eventually get the original transform. For example, if the length of a periodic sequence is equal to N , then the total computational complexity of the FFT algorithm will be N^2 of multiplications and additions. But if you divide the original sequence into two parts by $N/2$ elements in each, then to perform the FFT according to the classical formula at each stage of the calculation requires two times less operation of addition and multiplication.

1.2 Signals

A signal is a physical quantity whose parameters change in accordance with the data transmission. According to the method of representation or informativeness, two groups of signals are distinguished - deterministic and random.

Random signals are those whose time function is not known beforehand. The distribution of such signals in time occurs according to some probability. The main characteristics of such signals are their distribution law (time of stay of the signal in the accepted range) and spectral distribution of power of this signal.

Determined signals must always be described by an analytic function. The behaviour of such signals may be fully known at any time. Deterministic signals are in turn divided into periodic (repeated over time) and non-periodic signals.

In terms of representation characteristics, the signals are divided into analogue, binary and digital.

Analog signals are signals that are described by a continuous time function (fig 1.1). These signals provide data transmission by continuously changing time, frequency, phase or amplitude. Virtually all the information that can occur in nature is analogue. The easiest way to transmit such information is with analog signals that are continuous and defined at any given time. All analog signals are described as a continuous set, both in the value area and in the definition area.

A discrete signal (fig. 1.1) is characterized by an interrupted signal in time. That is, the signal changes abruptly, at some intervals of time (sampling interval). The analog signal sampling consists in its representation as a sequence of values taken at discrete moments of time (samples).

When restoring an analog signal from a digital form, the The Nyquist–Shannon sampling theorem is used, thanks to which the transition from one form of signal representation to another occurs without distortion or loss.

$$F_S = \frac{1}{T_S} > 2F_a \quad (1.9)$$

where F_S – sampling frequency of the signal;

F_a – upper frequency of the analog signal spectrum.

Digital signals are obtained from analog signals using sampling and level quantization operations.

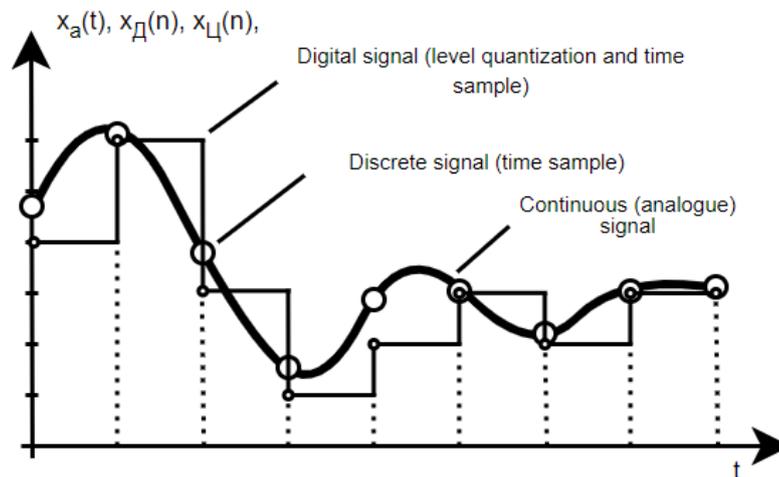


Figure 1.1 - Analog, binary and digital signals.

1.3 Fourier transform

Like signals, filters are subdivided into analogue and digital filters by their signal processing form. Analog filtering occurs when processing continuous signals such as voltage, mechanical motion or sound. In digital signal processing tasks, data pass through digital devices with digital filtering. Digital filters are mainly used to improve the quality of a signal - to isolate a useful signal, to suppress fluctuations in it, and to get rid of additive or multiplicative interference.

Depending on the type of algorithm used, filtering is classified into the following methods:

1. Frequency filtration.
2. Spatial filtration
3. Wavelet filter.

1.3.1 Frequency filtration

Frequency filtration. The frequency of the signal is directly dependent on the rate of change in the signal, hence it becomes apparent that the frequencies obtained during the Fourier transformation are related to the amplitude values of the signal. The slowest changing values of frequencies, whose points are located near the beginning of the Fourier transform, determine the slowly changing values of the amplitude response of the investigated series. At distance from the origin of coordinates, higher frequencies begin to correspond to more intense and sharp changes in the amplitude response of the signal.

The whole process of frequency filtering can be represented as a sequence of next steps:

1. Adding zeroes to the original signal and pulse response;
2. calculating the direct FFT;
3. multiplication of FFT results.
4. calculating the reverse DFT.

As an example, look at algorithm (fig. 1.2) for applying the frequency filtering of a non-recursive filter to a set of $x(k)$ signal counts of length N_x using the $h(k)$ filter pulse response of length N_h . In order to obtain the output signal it is necessary to calculate a linear convolution of the input signal $x(k)$ with the pulse characteristic of the filter $h(k)$. In step 1, both sequences are completed with zeros up to a length of at least $N_x + N_h - 1$. Next (step 2), we proceed to the calculation of direct discrete Fourier transform (DFT) for two sequences. According to the FFT property, the spectra product corresponds to a cyclic convolution of time sequences. Based on this property, at step 3 we multiply the results of the FFT of the considered rows and then perform an inverse discrete Fourier transform (DDF). The result is a set of counts $y(k)$ with length $N_x + N_h - 1$ (step 4), which is the result of calculating the linear convolution of the sequences $x(k)$ and $h(k)$.

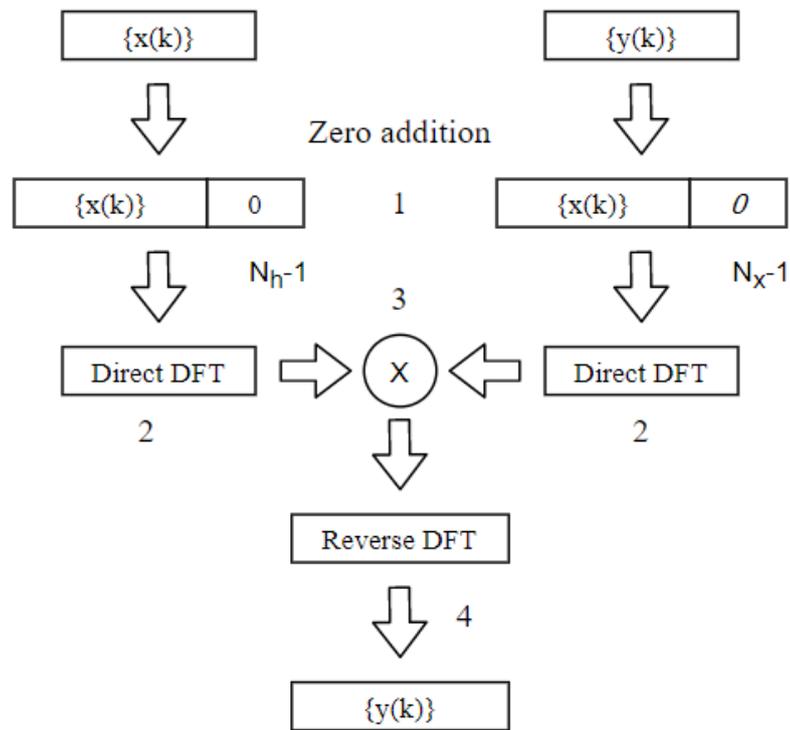


Figure 1.2 – Algorithm for applying the frequency filtering of the non-recursive filter.

The main characteristics of the frequency filter include the following:

1. Frequency of filter cutting. Frequency of signal attenuation at which the logarithmic scale reaches -3 dB.

2. Unevenness in the bandwidth, AFC. Uneven AFC characterizes its degree of deviation from the straight, parallel to the axis of frequencies. AFC irregularity is expressed in decibels. When the AFC irregularity is attenuated, the form of the transmitted signal is preserved.

3. Group delay of filter, FFC. The delay is expressed in phase shift of the signal at the output relative to the input signal. The group delay characterizes the change in the time shift of the signal, which occurs as a result of the phase shift.

4. The operating range of the signal in the bandwidth. The range of frequencies within the effective spectrum of the signal, in which 90% of the signal energy is concentrated.

5. Operating range of signal in suppression band. The range of frequencies that lie outside the frequency limits of efficiency.

Frequency filters differ in the type of "cutting off" of unnecessary frequencies. The following types of frequency filters are distinguished:

1. Low-frequency filters (LFF). These filters pass the signal frequency spectrum below the filter's cutoff frequency and suppress the signal frequencies above this frequency (fig. 1.3). Frequencies that are in the range from zero to filter cut-off frequency are located in the bandwidth, frequencies that are to the right of the filter cut-off frequency are located in the suppression band. The ELF is used when it is necessary to come to the suppression of high-frequency components of a signal to highlight a noisy signal. The result of filtering is the suppression of the signal at high rise speeds. The VLFs are available in both analog and digital formats.

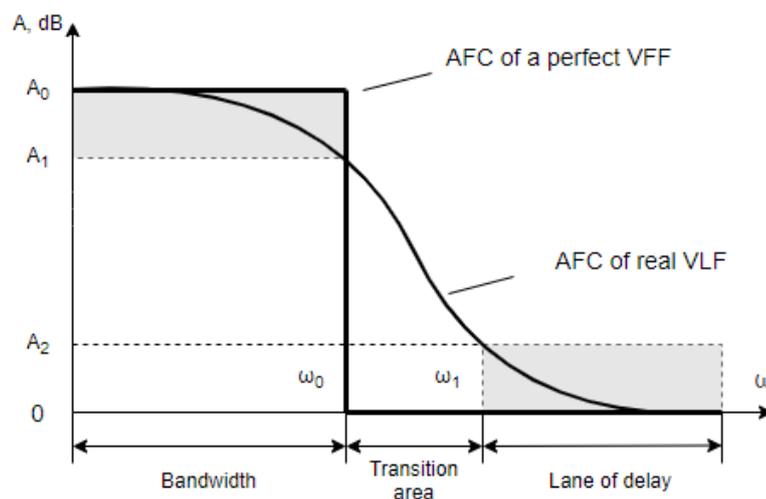


Figure 1.3 – Perfect and real bass filter AFC.

2. High Pass Filters (HFF). The filters pass the signal frequency spectrum above the filter's cutoff frequency and suppress the signal frequencies below this frequency (fig. 1.4). These filters are used to highlight high frequencies when processing audio signals, for example, in crossovers. Also, the filter is widely used to eliminate the constant component of the signal, for which the cut-off frequency is chosen very low. When you turn on the high and low frequencies filter, you get a bandpass filter in series.

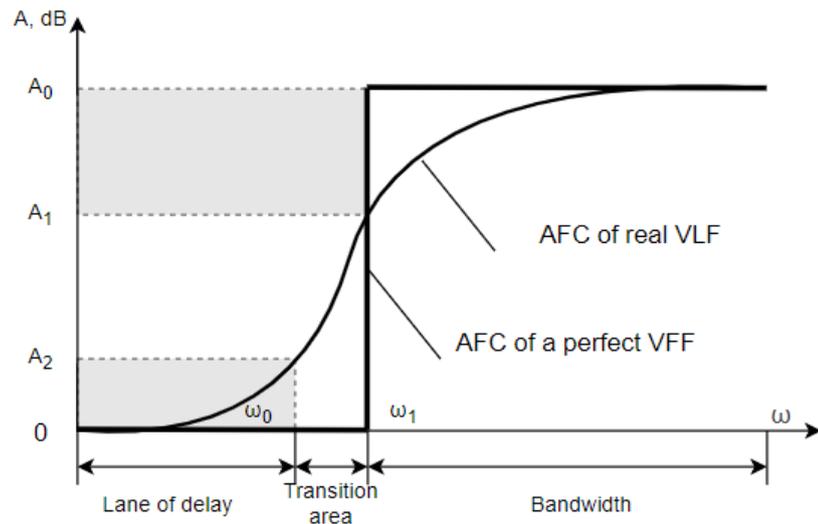


Figure 1.4 - Perfect and real high-frequency response filter.

3. Strip filters (PF). Such filters skip components that are in some band (fig. 1.5). Bandpass filter is characterized by lower and upper cut-off frequency. Bandpass filter is characterized by the width of the bandwidth, which is located around the central frequency.

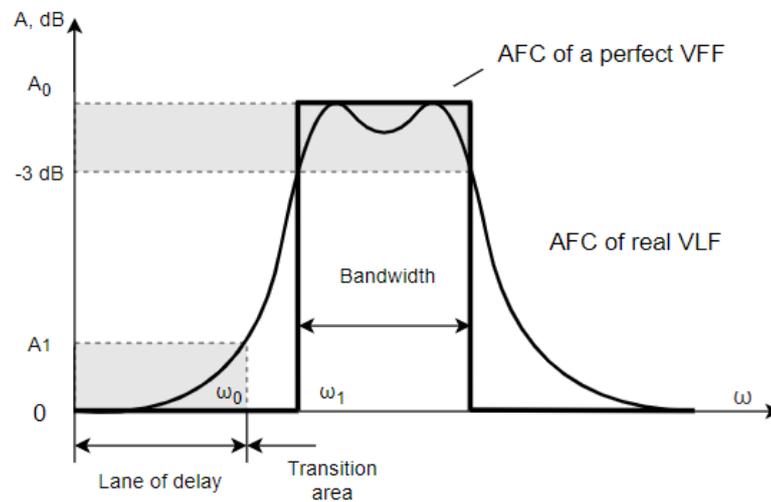


Figure 1.5 - Perfect and real bandpass filter AFC.

4. Rector filters (RF). A filter that does not pass the oscillations of a certain bandwidth, but passes the range of frequencies that lie outside the fence (fig. 1.6).

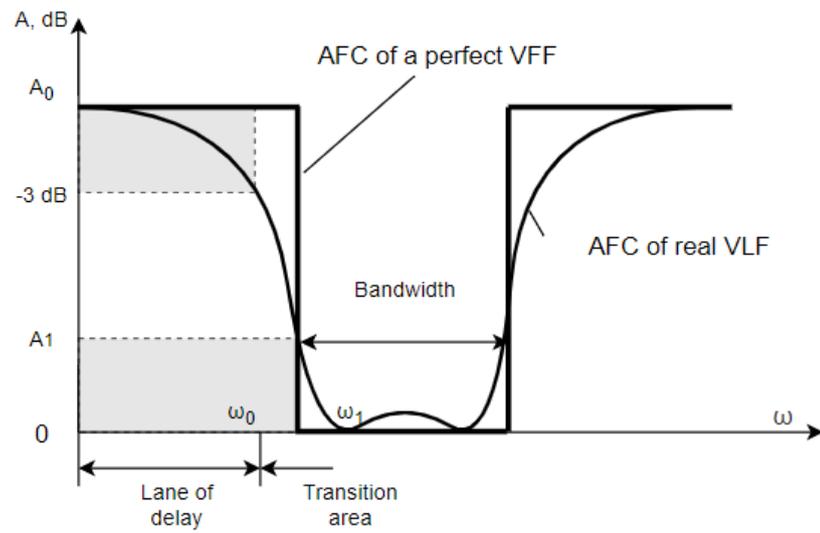


Figure 1.6 - Perfect and real AFC of the barrier filter.

The barrier filter suppression band is characterized by the width of the suppression band of one specific frequency and is located around the central suppression frequency f_0 .