

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

Институт Кибернетики
Направление подготовки Прикладная математика и информатика
Кафедра Программной инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка и исследование адаптивных алгоритмов веерной фильтрации

УДК 550.344:621.372.54

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б31	Коновалов Кирилл Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Степанов Дмитрий Юрьевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тухватулина Лилия Равильевна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Извеков Владимир Николаевич	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. Кафедрой	Иванов Максим Анатольевич	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

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

Институт Кибернетики
Направление подготовки Прикладная математика и информатика
Кафедра Программной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
8Б31	Коновалов Кирилл Игоревич

Тема работы:

Разработка и исследование адаптивных алгоритмов веерной фильтрации	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Модели сейсмических волн. Частотная характеристика идеального веерного фильтра. Алгоритм веерного фильтра по работе Threitel S., Shanks J., Frasier C.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Известные цифровые алгоритмы веерной фильтрации, новый цифровой алгоритм веерной фильтрации, адаптивная фильтрация.

Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Тухватулина Лилия Равильевна
Социальная ответственность	Извеков Владимир Николаевич

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Степанов Дмитрий Юрьевич	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б31	Коновалов Кирилл Игоревич		

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

Институт кибернетики

Направление подготовки Прикладная математика и информатика

Уровень образования бакалавр

Кафедра программной инженерии

Период выполнения _____ осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
21.02.2017	Составление и утверждение ТЗ	10
25.03.2017	Изучение теории статистической обработки и анализа сейсмической информации	10
10.04.2017	Разработка и исследование свойств весовой функции	20
2.05.2017	Разработка цифрового алгоритма фильтрации двумерных сейсмических волн	10
11.05.2017	Программная реализация алгоритма	20
27.05.2017	Исследование частотной характеристики фильтра	10
29.05.2017	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
29.05.2017	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Степанов Дмитрий Юрьевич	доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Иванов Максим Анатольевич	к.т.н		

Запланированные результаты

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, Критерии АИОР
Профессиональные компетенции		
P1	Применять <i>глубокие математические и профессиональные знания</i> для решения задач научно-исследовательской, проектной, производственной и технологической деятельности в области системного и прикладного программирования.	Требования ФГОС (ОК-11, 12, ПК-3, 10), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования профессиональных стандартов Ассоциации предприятий компьютерных и информационных технологий Требования работодателей: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина», ООО НАЦ «Недра», ИХН СО РАН
P2	Умение использовать знания по естественнонаучным дисциплинам при определении задач математического моделирования объектов и явлений в различных предметных областях	Требования ФГОС (ПК-3,9) Критерий 5 АИОР (п.5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина», ООО «НАПО им. В.П. Чкалова», ИХН СО РАН
P3	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий	Требования ФГОС (ОК-5, 11, 12,14,15, ПК-2, 6), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования профессиональных стандартов Ассоциации предприятий компьютерных и информационных технологий Требования работодателей: Контек, ОАО «Газпром переработка», ООО Нижневартонскэнергонефть».
P4	Выполнять <i>инновационные проекты с применением глубоких профессиональных знаний и эффективных методов проектирования</i> для достижения <i>новых результатов, обеспечивающих</i>	Требования ФГОС (ОК-14, ПК- 7, 9,14), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования профессиональных стандартов Ассоциации

	<i>конкурентные преимущества в условиях экономических, экологических, социальных и других ограничений.</i>	предприятий компьютерных и информационных технологий. Требования работодателей: Контек, ОАО «Газпром переработка», ИХН СО РАН.
P5	<i>Демонстрировать знание о формах организации образовательной и научной деятельности в высших учебных заведениях, иметь навыки преподавательской работы.</i>	Требования ФГОС (ОК-1, 10, 16, ПК-1, 14, 15), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Способность осуществлять организационно-управленческую и социально-ориентированную деятельность с соблюдением профессиональной этики	Требования ФГОС (ОК-5,13,16, ПК-11-13,16) Критерий 5 АИОР (п.5.2.12-13) согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Универсальные компетенции		
P7	<i>Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, включая разработку документации и представление результатов инновационной деятельности. Толерантность в восприятии социальных и культурных различий.</i>	Требования ФГОС (ОК-2, 3,4, 7, ПК-8). Критерий 5 АИОР (п. 5.2.11), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> и Требования профессиональных стандартов Ассоциации предприятий компьютерных и информационных технологий
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов	Требования ФГОС (ОК-1,4, 6, ПК-8,11,12), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.9,5.2.13), согласованный с требованиями
P9	<i>Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.</i> Способность к интеллектуальному, культурному, нравственному и профессиональному саморазвитию.	Требования ФГОС (ОК-8,9,16, ПК-5, 11), Критерий 5 АИОР (5.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> . Требования работодателей: Контек, ОАО «Газпром переработка», ООО Нижневартовскэнергонефть».

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Б31	Коновалов Кирилл Игоревич

Институт	Институт кибернетики	Кафедра	Программной инженерии
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Прикладная математика и информатика

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представляющей собой технические тексты, методы синтаксического анализа текстов, а также методы автоматического составления рефератов с помощью прикладного программного обеспечения.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT–анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование этапов разработки программы, определение трудоемкости, построение диаграммы Ганта.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. SWOT-анализ
2. График проведения и бюджет НИ
3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тухватулина Л.Р.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б31	Коновалов Кирилл Игоревич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Б31	Коновалов Кирилл Игоревич

Институт	Институт кибернетики	Кафедра	Программной инженерии
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Прикладная математика и информатика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Разработан новый цифровой алгоритм веерной фильтрации, позволяющий обрабатывать сейсмические данные с большим быстродействием. Область применения алгоритма – сейсморазведка.
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	Вредные факторы: - Электромагнитные излучения - Микроклимат - Освещенность рабочей зоны - Шум на рабочем месте Опасных факторы: - Статическое электричество - Электрический ток
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);	- Анализ негативного воздействия на окружающую природную среду: утилизация люминесцентных ламп, компьютеров и другой оргтехники

– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	Возможные чрезвычайные ситуации: - Пожар
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	- Рабочее место при выполнении работ сидя регулируется ГОСТом 12.2.032 – 78 - Организация рабочих мест с электронно-вычислительными машинами регулируется СанПиНом 2.2.2/2.4.1340 – 03

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Извеков В.Н.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б31	Коновалов Кирилл Игоревич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа выполнена на 92 страницах, также содержится 19 рисунков, 19 таблиц, 31 источник, 2 приложения.

Ключевые слова: сейсморазведка, веерный фильтр, весовая функция.

Объектом исследования является интерференционное волновое поле.

Цель работы – создание эффективного цифрового алгоритма разделения волн, основанного на адаптивной веерной фильтрации.

В процессе исследования проводилось изучение известных алгоритмов веерной фильтрации. Проводилось исследование весовой функции цифрового веерного фильтра, а также исследование частотной характеристики веерного фильтра. Разработан и реализован цифровой алгоритм веерной фильтрации.

В результате исследования разработан и реализован новый цифровой алгоритм веерной фильтрации.

Степень внедрения: работа выполнена на актуальную тему.

Область применения сейсморазведка.

Оглавление

Реферат.....	10
Введение.....	13
1. Обзор литературы.....	15
2. Анализ методов разделения сейсмических волновых полей.....	17
2.1. Общая характеристика задач разделения волновых полей.....	17
2.2. Модели волновых полей.....	19
2.3. Методы и алгоритмы разделения сложных волновых полей.....	22
3. Общие положения веерной фильтрации.....	25
3.1. Двумерные спектры пачки волн.....	25
3.2. Веерная фильтрация.....	27
4. Разработка цифрового алгоритма веерной фильтрации.....	32
4.1. Анализ свойств весовой функции веерного фильтра.....	32
4.2. Анализ цифрового алгоритма веерного фильтра.....	34
4.3. Разработка адаптивного алгоритма веерной фильтрации.....	35
4.4. Исследование цифрового алгоритма веерного фильтра.....	41
4.5. Выбор программной среды.....	45
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	46
5.1. SWOT–анализ.....	46
5.2. Организация и планирование работ.....	50
5.2.1. Продолжительность этапов работ.....	51
5.3. Расчет сметы затрат на выполнение проекта.....	55
5.3.1. Расчет затрат на электроэнергию.....	55
5.3.2. Расчет заработной платы.....	57
5.3.3. Расчет дополнительной заработной платы.....	58
5.3.4. Расчет затрат на отчисления во внебюджетный фонд.....	58
5.3.5. Расчет амортизационных расходов.....	58
5.3.6. Расчет прочих расходов.....	60
5.3.7. Расчет общей себестоимости разработки.....	60
5.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	61
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	62

6.1. Аннотация	62
6.2. Введение	62
6.3. Производственная безопасность.....	63
6.3.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	63
6.3.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследования	65
6.3.3. Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов (техника безопасности и производственная санитария).....	67
6.4. Экологическая безопасность.....	77
6.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	78
6.5.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	78
6.5.2. Обоснования мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	79
6.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	81
6.7.2. Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	81
6.7.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	82
Заключение	87
Список используемых источников.....	88
Приложение	91

Введение

В настоящее время месторождения полезных ископаемых сильно истощаются, а поиск и разработка новых нефтегазовых структур гораздо сложнее по глубине, поверхностным условиям, геологическому строению. При решении этих проблем важную роль играет сейсморазведка. Во время обработки сейсмических сигналов, имеется большой ряд проблем по причине анализа больших массивов данных относительно формы сейсмических сигналов и среды их распространения в условиях априорной неопределенности. Вследствие чего возникает сложность и трудоемкость решения обратных задач сейсморазведки. Обратные задачи сейсморазведки: установление геологического строения Земли по зарегистрированному полю упругих колебаний. Развитие решения обратных задач в настоящее время связан с широким использованием ЭВМ и построением на их основе программно-алгоритмических комплексов обработки и интерпретации сейсмических данных. Разработка алгоритмов разделения сейсмических волн является одной из важнейшей частью создания программно-алгоритмических комплексов. Особую роль разделение сейсмических волн также играет в задачах прогноза геологического разреза, в том числе прогноза нефтегазоносности тонкослоистых геологических сред, где наблюдаемая волновая картина носит сугубо интерференционный характер [1].

На сегодняшний день, особую значимость имеют цифровые алгоритмы веерной фильтрации, которые описаны в работах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Однако данные алгоритмы отмечаются относительно не высоким быстродействием или малой эффективностью. Вопросы адаптации мало рассмотрены в публикациях.

Целью работы является создание адаптивного цифрового алгоритма разделения волн, основанного на веерной фильтрации.

Исходя из цели нужно решить следующие задачи:

1. исследовать весовую функцию цифрового фильтра;
2. составить цифровой алгоритм веерной фильтрации;
3. провести исследования работы полученного алгоритма.

Объектом исследования является интерференционное волновое поле.

Предметом исследования являются характеристики интерференционного волнового поля.

Научная новизна работы заключается в нахождении новых вариантов реализации цифровой веерной фильтрации, позволяющие обрабатывать сейсмические данные.

Практическая значимость работы заключается в разработке программной реализации цифрового алгоритма веерной фильтрации, который позволит обрабатывать сейсмические данные с большей эффективностью.

Реализация работы. Планируется данный алгоритм внедрить в программный комплекс обработки и интерпретации сейсмических данных, разработанный кафедрой прикладной математики для проведения хозяйственных работ.

Разработка алгоритма, программная реализация и вычислительные эксперименты, а также обзор литературы выполнены самостоятельно. Раздел в области постановки задачи, создание математической модели, подбор метода расчетов и анализ результатов работы выполнены совместно с руководителем (50%).

1. Обзор литературы

При проведении исследования литературы по решению задачи в разработке быстродействующего цифрового алгоритма веерной фильтрации, можно заключить следующее.

В современном мире существенный интерес вызывает развитие спектральных методов, предоставляющих возможность использования информации, заложенной в двумерных спектрах сейсмических волновых полей. Немаловажными возможностями располагают алгоритмы, основанные на пространственно-временной фильтрации по направлению [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

В настоящее время пространственно-временные фильтры (ПВФ) приобрели значительно активное использование по предварительной обработке сейсмической информации. Среди данных алгоритмов ярко выделяются, первоочередно, веерные фильтры, основанные на идее селекции волн по кажущимся скоростям. Синтез фильтров в общеизвестных алгоритмах веерной фильтрации [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] происходит в пространственно-временной области. Наряду с этим вводится какая-либо аппроксимация реализуемого импульсного отклика фильтра. По большей части, при малом размере полосы пропускания фильтра и при небольших базах наблюдения по кажущейся скорости волн не удастся подобрать искомую аппроксимацию и протяженность импульсного отклика. Вследствие этого появляются существенные погрешности в реализации необходимой частотной характеристики веерного фильтра, что приводит, в результате, к значительному ухудшению разрешающей способности и их помехоустойчивости, а также к внесению весомых искажений в спектр выделяемых сигналов [4, 5, 8].

Литература не обладает исчерпывающим анализом характеристик, выделяемых веерным фильтром волн. Помимо этого, остаются не рассмотренными вопросы оценки разрешающей способности и помехоустойчивости веерной фильтрации, а также вопросы разработки спектральных методов разделения волновых полей, основанных на фильтрах с

переменными параметрами и на адаптивных веерных фильтрах. Более того, в данный момент времени, существует некоторая неосвещенность особенностей и проблем цифровой реализации веерных фильтров в спектральной области, равным образом остаются открытыми вопросы разработки как программного, так и алгоритмического обеспечения спектральных методов разделения волновых полей, их изучения и использования при решении задач прогноза геологического разреза и структурных задач.

2. Анализ методов разделения сейсмических волновых полей

2.1. Общая характеристика задач разделения волновых полей

Конструкция математической модели исследуемого объекта необходима любому математическому методу обработки информации. Описание системы объекта, воздействия на объект и отклика объекта, являются общепринятыми подходами для создания математической модели объекта. Все комплектующие системы могут быть связаны некоторым оператором связи, а построение математической модели включает в себя определение величин воздействия, отклика, характеристик объекта, оператора связи входа и выхода системы для конкретной задачи (рисунок 1). В геофизике объектом исследования является среда – земная толща, описываемая характеристиками среды: плотность, электропроводность, намагниченность и т.д. Оператором связи является уравнение, описывающее соответствующее поле: уравнение распространения упругих колебаний в сейсморазведке, уравнение Максвелла в электромагнитных методах разведки, уравнение распределения потенциалов в электроразведке и т.п. [6, 11, 12, 13].



Рисунок 1 – Общая схема формирования сейсмического волнового поля

Существуют два типа основных задач сейсморазведки: обратные и прямые. Нахождение волнового поля по заданному источнику возбуждения упругих колебаний и характеристике среды их передвижения является прямой задачей сейсморазведки. Под решением обратных задач сейсморазведки понимают определения геологического разреза по зарегистрированному полю упругих колебаний.

Интерференционный характер волнового поля обусловлен сложными

сейсмологическими условиями наблюдаемых волновых картин. Благодаря анализу монотипных волн решаются основные задачи структурной сейморазведки, на интерпретацию и обработку сейсмических данных качественно влияет надежность разрешения волн. При прогнозе геологического разреза особую роль играет разделение сейсмических волн.

Возникают многочисленные трудности при решении задач по разделению волн в обратных задачах сейморазведки. Данные трудности вызваны особенностями сейсмических материалов. Важнейшей особенностью сейсмической информации является малое количество априорных данных в прослеживаемом волновом поле и геологической среде. В тоже время разделяемые волны зачастую имеют близкие информационные свойства. Следующая важная особенность сейсмических материалов состоит в большом объеме исходной информации, подлежащей переработке и хранению. Поэтому решение обратных задач характеризуется многоэтапностью и большой трудоемкостью, причем из-за недостатка априорных данных интерпретатору приходится помимо уточнения модельной основы разрешать неоднозначность некоторых результатов обработки. В этих условиях особо важное значение приобретает построение алгоритмов, работающих достаточно надежно при малой априорной информации.

Для решения обратных задач наиболее многообещающим представляется статистический подход, т.к. он учитывает случайную структуру обрабатываемой информации и позволяет использовать наиболее полно информацию о среде и наблюдаемом волновом поле. Существует большое количество работ об обработках геофизических данных, посвященных развитию и применению статистической теории [2, 4, 8,9, 12, 13, 14, 15].

В рамках статистического подхода задача разделения рассматривает не только случайные шумы, но и мешающие сигналы в том числе. Все это предопределяет необходимость наличия больших сведений о свойствах сигналов и помех и вызывает в различных ситуациях значительные проблемы в

формулировании оптимального критерия разрешения.

В настоящее время статистическая теория разделения сигнала применительно к задачам обработки сейсмической информации далеко не завершена. Так, например, требуют рассмотрения важных вопросов разделения пачки полезных волн, наблюдаемых на фоне других мешающих волн. Решение данной проблемы занимает одно из ведущих положений на предварительных и заключительных этапах обработки сейсмической информации при проведении структурных построений и прогнозе геологического разреза.

2.2. Модели волновых полей

Изучение распространения искусственно возбужденных упругих волн в земной коре является основой методов сейсмической разведки. Упругие волны, которые могут быть вызваны, например, взрывом или ударом, распространяются от их очага и проникают вглубь толщи коры на большие расстояния. Далее их поведение можно сравнить со световыми или звуковыми волнами, т.к. они подвергаются рефракции и отражению. Затем они частично возвращаются к поверхности земли, где колебания, создаваемые данными упругими волнами, фиксируются специализированным оборудованием и отображаются в виде сейсмограмм. На рисунке 2 схематично изображен процесс извлечения информации в общем виде.

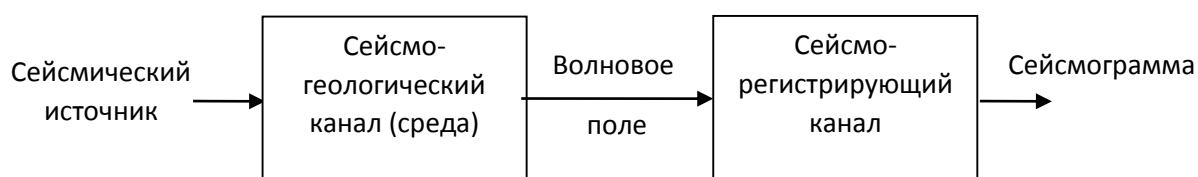


Рисунок 2 – Схема представления процесса извлечения информации

Отклик среды на источник возбуждения, который может быть представлен в виде множества возникших в среде упругих колебаний, а также описан функцией пространства и времени, образует такое понятие как сейсмическое волновое поле. Сейсмическая модель волнового поля, как правило, изображена как аддитивная модель [2, 11, 13]. Отличительной чертой аддитивной модели

является то, что сумма полезной составляющей $S(t, \vec{p})$ и $L(t, \vec{p})$ осложняющей ее помехи является результатом измерения поля:

$$Y(t, \vec{p}) = S(t, \vec{p}) + L(t, \vec{p}), \quad (2.2.1)$$

где $t, \vec{p}$ – временная координата и вектор пространственных координат, соответственно.

Вследствие того, что понятия сигнала и помехи в сейсморазведке имеют относительный характер, следует четко выделять в каждом конкретном случае, что является сигналом, а что является помехой. В общем случае сигнал представляет собой форму проявления поля, где находится сконцентрированная полезная информация, а помеха – различные возмущения поля, которые являются препятствием для выделения сигнала [13].

Каждый метод сейсморазведки применяет волны конкретного типа. В то же время совершается расщепление падающей волны и формирование большого количества вторичных волн в случае распространения упругой волны в слоистой осадочной толще на многочисленных границах раздела. Аппаратура, зафиксированная на месте слежения, записывает суммарное смещение, которое создается приходящими к ней волнами всех типов. В зависимости от решаемой задачи некоторые волны расцениваются как полезные, остальные же числятся мешающими. Соответственно, приписывание какой-либо волны к категории сигналов или помех имеет условный характер [13].

В процессе анализа зафиксированных колебаний фигурирует такое понятие как регулярность пространственно-временных волн. Согласно [16], пусть волна называется регулярной в том случае, когда в различных точках пространства она может быть охарактеризована одинаковыми временными зависимостями с точностью до амплитудных множителей и времен прихода.

Касаясь помех, можно сказать, что они делятся на регулярные и нерегулярные. В общем виде под помехой понимается аддитивная смесь регулярных волн $P(t, \vec{p})$ и нерегулярного шума $\xi(t, \vec{p})$:

$$L(t, \vec{p}) = P(t, \vec{p}) + \xi(t, \vec{p}). \quad (2.2.2)$$

В математической модели поля (2.2.1) и поля (2.2.2) можно отобразить либо детерминированными, либо случайными. В данном случае под детерминированными полями понимаются поля, которые аналитически заданы по форме и своим параметрам, а под случайными – с известной формой и со случайными параметрами. Благодаря случайности параметров волн можно рассматривать наблюдаемое поле $Y(t, \vec{p})$ как случайный процесс. При этом, учитывая непредотвратимое изменение физических свойств изучаемых объектов, максимально резонным стоит считать задание статистической модели наблюдаемого поля.

При линейной системе наблюдения для методов сейсморазведки можно представить волновое поле в качестве функции времени t и координаты пространства x [2, 13, 16]. Для взрывных методов сейсморазведки можно представить волновое поле как множество наблюдений, зафиксированных вдоль профиля наблюдений в дискретных точках $x: \{x_{-N}, x_{-N+1}, \dots, x_0, \dots, x_{N-1}, x_N\}$, где $(2N+1)$ – количество пунктов приема. В таком случае общая статистическая модель волнового поля принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} \hat{Y}(t, x) = Y(t, x) \cdot \sum_{n=-N}^N \delta(x - n\Delta x) = \sum_{i=1}^{K_s} a_i \sum_{n=-N}^N S_i(t - \Delta t_i(n\Delta x)) \cdot \delta(x - n\Delta x) + \\ + \sum_{l=1}^{K_p} b_l \sum_{n=-N}^N P_l(t - \Delta t_l(n\Delta x)) \cdot \delta(x - n\Delta x) + \xi(t, x) \cdot \sum_{n=-N}^N \delta(x - n\Delta x). \end{aligned} \quad (2.2.3)$$

где $S(t, \vec{p})$, $P(t, \vec{p})$ – нормированные формы полезных волн и регулярных помех, соответственно; a_i , b_l – амплитуды волн; $\Delta t(x)$ – уравнение годографа волны, K_s , K_p – число полезных волн и волн – помех.

Годограф волны в сейсморазведке представляет собой зависимость $\Delta t(x)$ между координатами точек наблюдения и измеренным временем пробега волны. Форма волны оказывает влияние на уравнение годографа. При различных формах волны данное уравнение может характеризовать не только время поступления волны, но и время выступления фазовой поверхности (годограф фазы). Уравнением годографа волны является аналитическое представление

$\Delta t(x)$. Существует два основных типа уравнений [2,17], используемых для описания годографа волны:

1. линейное уравнение годографа

$$\Delta t_i(x) = t_i + x \cdot \gamma_i, \quad (2.2.4)$$

где γ_i – величина, обратная кажущейся скорости V_i (либо выражается через тангенс кажущегося угла наклона волны $\gamma = 1/V = \operatorname{tg}(\varphi)$);

2. нелинейное уравнение годографа:

параболическое уравнение годографа, обычно применяемое для аппроксимации годографов более сложной структуры

$$\Delta t_i(x) = t_i + x \cdot \gamma_i + x^2 \cdot \lambda_i, \quad (2.2.5)$$

где λ_i – коэффициент кривизны годографа;

Каждая конкретная постановка задачи оказывает влияние на параметры регулярных волн, которые, в различных случаях, могут считаться известными, неизвестными или случайными величинами.

Существует целый ряд факторов, которым обусловлены нерегулярные помехи $\xi(t,x)$. К ним относятся, например, наличие микросейсм, аппаратные шумы, наличие большого числа кратных и частично-кратных волн с малой энергией и т.д. Благодаря сложному характеру формирования аддитивного шума и количеству слагающих его факторов, можно считать $\xi(t,x)$ распределенными нормально [18]

2.3. Методы и алгоритмы разделения сложных волновых полей

Рассмотрим общеизвестные методы, используемые в настоящее время для разделения волновых полей [1 – 20].

Обычно методы разделения волновых полей подлежат разделению на два типа: одноканальные и многоканальные методы. Первые опираются на анализ временных рядов. Вторые комплексно применяют различия волн по кажущимся скоростям, частотному составу и степени взаимосвязи по направлению.

Наиболее широкое применение среди одноканальных процедур получили алгоритмы деконволюции и полосовой фильтрации [19, 20]. Вследствие того, что при применении данных методов не учитываются свойства волн как пространственно-временных сигналов, их разрушающая способность существенно снижается в условиях интерференции регулярных волн. Как правило, методы деконволюции основываются на предположениях о минимально-фазовом сигнале и отсутствии шумовой составляющей.

Обычно для борьбы с регулярными помехами в сейсморазведке используются многоканальные методы. Среди известных многоканальных методов можно выделить следующие [4, 8, 11, 19, 21]:

- группирование источников;
- суммирование плоских волн;
- регулируемый направленный прием (РНП);
- разновременное суммирование;
- регулируемое направленное излучение;
- суммирование неплоских волн;
- фильтрация скоростей.

Среди многоканальных методов особенно выделяются алгоритмы пространственно-временной фильтрации (ПВФ), которые получили достаточно широкое распространение в практике геофизических исследований [2–10]. Среди методов пространственно-временной фильтрации можно выделить два основных типа: методы, которые основываются на выделении сигнала в детерминированной полосе частот, к которым относится частотная, волночисловая и частотно-волночисловая фильтрация, и методы, которые основываются на выделении волн по направлению, к которым относится веерная фильтрация [13]. В процессе отделения волн в тех случаях, когда имеются регулярные волны-помехи, обладающие тем же частотным составом, что и полезные волны, очевидно, что применение методов, основанных на выделении сигнала в определенной полосе частот, является неэффективным. Веерная

фильтрация – это двумерная пространственно-временная обрабатывающая система, которая пропускает только те волны, которые находятся в заданном диапазоне скоростей, и подавляет те волны, которые находятся вне этого диапазона.

Как показано в работах [5,8], веерная фильтрация по сравнению с направленным суммированием пропускает полезные сигналы в более широком диапазоне частот. В частности, это определяет то, что вероятность возникновения ложных осей синфазности после обработки веерным фильтром значительно ниже, чем при использовании обычных интерференционных систем.

Все наиболее известные для широкой публики алгоритмы [2, 4, 5, 8, 9, 10] веерной фильтрации разработаны в пространственно-временной области и основываются на операции двумерной свертки, а также относятся к классу цифровых фильтров с конечно-импульсной характеристикой (КИХ фильтр). В то же время, вводится какая-либо аппроксимация реализуемого импульсного отклика фильтра. Как правило, не удается подобрать требуемую аппроксимацию при малых базах наблюдения и небольшой полосе пропускания фильтра по кажущейся скорости волн.

Существенным недостатком данного алгоритма является тот факт, что накладывается ограничение на значения параметров фильтрации, например, направленность и раствор фильтра должны быть кратны отношению шагов дискретизации исходных данных $\frac{\Delta t}{\Delta x}$ [8].;

3. Общие положения всеерной фильтрации

3.1. Двумерные спектры пачки волн

В качестве исходной модели волнового поля рассмотрим пачку идеально-регулярных волн (2.2.3), заданных на конечной базе наблюдения, форма и амплитуда которых на разных каналах наблюдения одинакова. Уравнение годографа представлено в линейной форме (2.2.4), значения γ волн отличаются и лежат в некотором диапазоне $\gamma_{Si} \in [\gamma_n, \gamma_e]$.

Проведем анализ двумерного спектра данного волнового поля. Для этого необходимо выполнить преобразование Фурье $\hat{S}(t, x)$ сначала по времени, а затем по пространству:

$$\hat{S}(ft, x) = F_t^+ \{ \hat{S}(t, x) \} = \sum_{i=1}^{Ks} a_i S_i(ft) e^{-j2\pi ft(t_i + \gamma_{Si}x)} \sum_{n=-N}^N \delta(x - n\Delta x), \quad (3.1.1)$$

$$\begin{aligned} \hat{S}(ft, fx) &= F_x^+ \{ \hat{S}(ft, x) \} = \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{i=1}^{Ks} a_i S_i(ft) e^{-j2\pi ft(t_i + \gamma_{Si}x)} \sum_{n=-N}^N \delta(x - n\Delta x) e^{-j2\pi(fx)x} dx = \\ &= \sum_{i=1}^{Ks} a_i S_i(ft) e^{-j2\pi t_i ft} \sum_{n=-N}^N e^{-j2\pi n\Delta x(fx + \gamma_{Si}ft)} = \sum_{i=1}^{Ks} a_i S_i(ft) e^{-j2\pi t_i ft} \frac{\sin[\pi U(fx + \gamma_{Si}ft)]}{\sin[\pi\Delta x(fx + \gamma_{Si}ft)]}, \end{aligned} \quad (3.1.2)$$

где $U = \Delta x(2N+1)$ – база наблюдения.

Обозначим за $\eta = fx + \gamma_{Si}ft$, и из последнего выражения рассмотрим функцию (рисунок 3)

$$Z(\eta) = \frac{\sin[\pi U \eta]}{\sin[\pi \Delta x \eta]}. \quad (3.1.3)$$

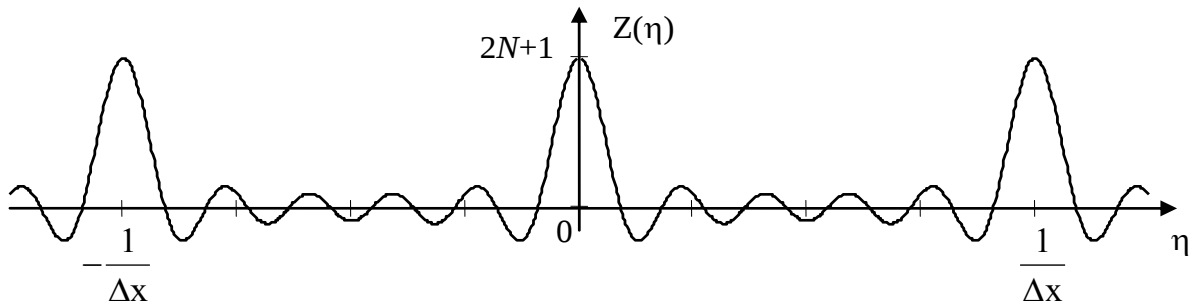


Рисунок 3 – График функции (3.1.3)

$Z(\eta)$ является периодической функцией с периодом $1/\Delta x$. Максимальные

значения данная функция принимает при

$$\eta = \frac{1}{\Delta x} n, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \text{ и } \max_{\eta} [Z(\eta)] = \lim_{\eta \rightarrow \frac{n}{\Delta x}} \frac{\sin[\pi U \eta]}{\sin[\pi \Delta x \eta]} = 2N + 1.$$

Нулевые значения $Z(\eta)$ имеет при

$$\eta = \frac{k}{U}; \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

Как было показано в [12], при $(2N+1) \geq 13$ функцию $Z(\eta)$ можно представить в виде

$$Z(\eta) \approx (2N + 1) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{Sinc} \left[\pi U \left(\eta - \frac{n}{\Delta x} \right) \right], \quad (3.1.4)$$

где $\text{Sinc}[u] = \frac{\text{Sin}[u]}{u}$ – функция отсчетов. Следовательно, спектр каждой отдельной волны будет принимать максимальные значения вдоль линий

$$fx + \gamma_{Si} ft = \frac{n}{\Delta x}, \text{ или } fx = \frac{n}{\Delta x} - \gamma_{Si} ft, \quad (3.1.5)$$

где под n подразумевается порядок дискретизации двумерного спектра по пространственной частоте fx . В том случае, когда существует возможность пренебрежения наложением спектров высших порядков, двумерный спектр пачки плоских идеально регулярных волн в области нулевого порядка дискретизации может быть представлен в виде, приведенном на рисунке 4.

$$\hat{S}(ft, fx) = \sum_{i=1}^{Ks} a_i S_i(ft) e^{-j2\pi t_i ft} U \text{Sinc}[\pi U (fx + \gamma_{Si} ft)]. \quad (3.1.6)$$

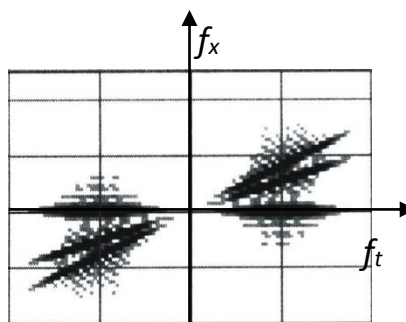


Рисунок 4 – Пример амплитудного спектра пачки плоских волн

Учитывая диапазон кажущихся скоростей пачки волн, область

максимальных значений двумерного спектра пачки волн в первом приближении может быть ограничена следующим неравенством:

$$-\gamma_{\varepsilon} ft \leq fx \leq -\gamma_{\eta} ft \quad (3.1.7)$$

Следовательно, исходя из результатов проведения анализа двумерного спектра регулярных волн, можно сделать вывод о том, что в такой ситуации, когда волновое поле состоит из множества плоских волн с различными кажущимися скоростями, область максимальных значений двумерного спектра волн ограничивается областью в форме веера. Отсюда следует тот факт, что если области распространения кажущихся скоростей полезных и мешающих волн отличаются друг от друга, то их двумерные спектральные характеристики разнятся. Это позволяет осуществлять синтез пространственно-временных фильтров в частотной области, полоса пропускания которых является наиболее согласованной с областью максимальных значений двумерного спектра разрешаемых волн.

3.2. Веерная фильтрация

Приняв во внимание вышеприведенный анализ, можно выполнить синтез фильтра, полоса пропускания которого наиболее полно согласована с распределением спектра выделяемых волн. Данный фильтр называется веерным фильтром.

Принципы пропускания сигналов внутри заданного веера кажущихся скоростей и подавления вне его положены в качестве основы веерного фильтра. Например, если фильтрация производится в районе нулевого порядка дискретизации спектра, то частотная характеристика веерного фильтра может быть записана в следующем виде [1, 5, 10, 22]:

$$H(ft, fx) = \begin{cases} 1, & -\gamma_{\eta}^{\Phi} ft \leq fx \leq -\gamma_{\varepsilon}^{\Phi} ft, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (3.2.1)$$

Далее применяется более удобная математическая форма записи, которая приведена на рисунке 5.

$$H(ft, fx) = \text{rect} \left[\frac{fx + \gamma_{\Phi} |ft|}{\Delta\gamma_{\Phi} |ft|} \right], \quad (3.2.2)$$

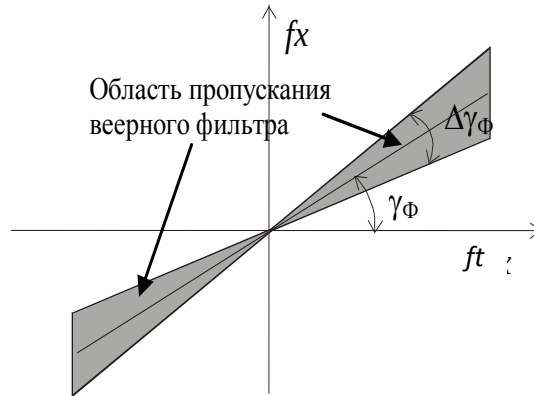


Рисунок 5 – Частотная характеристика ВФ

где $\text{rect} \left[\frac{x}{a} \right] = \begin{cases} 1, & |x| \leq a/2 \\ 0, & |x| > a/2 \end{cases}$ – прямоугольная функция;

$\gamma_{\Phi} = \text{tg} \varphi$ – коэффициент, определяющий тангенс среднего угла наклона ВФ (направление фильтра);

$\Delta\gamma_{\Phi}$ – полоса пропускания по параметру γ (раствор фильтра), определяющий ширину диапазона пропускаемых скоростей.

Проанализируем вопросы выбора области пропускания фильтра, определяемого в соответствии с (3.2.2) следующими неравенствами:

$$-|ft| \frac{\Delta\gamma_{\Phi}}{2} \leq fx + \gamma_{\Phi} |ft| \leq |ft| \frac{\Delta\gamma_{\Phi}}{2}. \quad (3.2.3)$$

Взяв в расчет условие согласования области максимального значения спектра выделяемых волн с полосой пропускания веерного фильтра, согласно (3.1.7), (3.2.3), можно сказать, что, исходя из следующих соотношений можно произвести выбор раствора фильтра для пачки регулярных волн с линейным уравнением годографа:

$$(3.2.4)$$

$$\Delta\hat{\gamma}_{\Phi} = \gamma_{\text{в}} - \gamma_{\text{н}},$$

а тангенс угла наклона из:

$$\hat{\gamma}_{\Phi} = \frac{\gamma_{\text{в}} + \gamma_{\text{н}}}{2}, \quad (3.2.5)$$

Дабы сократить изложение, в дальнейшем, параметры фильтра,

определенные соотношениями (3.2.4–5) условно названы основными оценками параметров веерного фильтра.

Заострим внимание на отклике веерного фильтра в том случае, когда поле на входе непрерывно по координате t и задано на $2N+1$ каналах, а фильтрация осуществляет в области нулевого порядка дискретизации, т.е. $n = 0$. Двумерный спектр волнового поля может быть определен импульсом с колокольной огибающей:

$$S(t) = e^{-\beta^2 t^2} \cos(2\pi f_0 t + \varphi), \quad (3.2.6)$$

где β – коэффициент, определяющий затухание импульса; f_0 – преобладающая частота; φ – фазовый сдвиг.

В таком случае двумерный спектр может быть представлен в виде:

$$\begin{aligned} \hat{Y}(ft, fx) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=-N}^N Y(t, x) \delta(x - n\Delta x) e^{-j2\pi(t \cdot ft + x \cdot fx)} dt dx = \\ &= \sum_{n=-N}^N Y(ft, n\Delta x) e^{-j2\pi n\Delta x \cdot fx} \end{aligned} \quad (3.2.7)$$

где $Y(t, n\Delta x)$ – сейсмотрасса в точке приема $x = n\Delta x$, а $Y(ft, n\Delta x)$ – ее спектр. Тогда спектр поля на выходе веерного фильтра принимает следующий вид:

$$\hat{Y}_{\text{вх}}(ft, fx) = \text{rect} \left[\frac{fx + \gamma_{\Phi} |ft|}{\Delta\gamma_{\Phi} |ft|} \right] \sum_{n=-N}^N Y(ft, n\Delta x) e^{-j2\pi n\Delta x \cdot fx} \quad (3.2.8)$$

Спектр волнового поля в точке приема $\tilde{x}$ может быть записан как:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{\text{вх}}(ft, \tilde{x}) &= \sum_{n=-N}^N Y(ft, n\Delta x) \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \text{rect} \left[\frac{fx + \gamma_{\Phi} |ft|}{\Delta\gamma_{\Phi} |ft|} \right] e^{-j2\pi n\Delta x \cdot fx} e^{j2\pi \tilde{x} \cdot fx} dfx = \\ &= \sum_{n=-N}^N Y(ft, n\Delta x) \frac{1}{2\pi} \Delta\gamma_{\Phi} |ft| \text{Sinc} \left[\pi \Delta\gamma_{\Phi} |ft| (\tilde{x} - n\Delta x) \right] e^{-j2\pi \gamma_{\Phi} (\tilde{x} - n\Delta x) |ft|} = \\ &= \sum_{n=-N}^N Y(ft, n\Delta x) A(ft; \tilde{x} - n\Delta x), \end{aligned} \quad (3.2.9)$$

где

$$A(ft; \tilde{x} - n\Delta x) = \frac{1}{2\pi(\tilde{x} - n\Delta x)} \sin \left[\pi \Delta\gamma_{\Phi} |ft| (\tilde{x} - n\Delta x) \right] e^{-j2\pi \gamma_{\Phi} |ft| (\tilde{x} - n\Delta x)}. \quad (3.2.10)$$

Выражение (3.2.9) позволяет заметить, что веерная фильтрация может быть реализована не только в пространственно-временной области, но и в частотно-пространственной. В данном случае веерная фильтрация может быть выполнена как многоканальная система с одним входом и некоторым количеством выходов. Наряду с этим, разрабатываемая частотная характеристика одномерных фильтров может быть определена выражением (3.2.10) по каждому входу [1].

Можно получить волновое поле на выходе веерного фильтра, взяв обратное преобразование Фурье по частоте ft от выражения (3.2.9):

$$\hat{Y}_{\text{вблх}}(\tilde{t}, \tilde{x}) = \sum_{n=-N}^N Y(\tilde{t}, n\Delta x) \otimes^{\tilde{t}} h(\tilde{t}; \tilde{x} - n\Delta x), \quad (3.2.11)$$

$$\text{где } h(\tilde{t}; \tilde{x}) = \frac{1}{4\pi^4 \tilde{x}} \left[\frac{\cos[\pi f_N (\Delta\gamma_{\Phi} \tilde{x} - 2\tilde{t} + 2\gamma_{\Phi} \tilde{x})] - 1}{(\Delta\gamma_{\Phi} \tilde{x} - 2\tilde{t} + 2\gamma_{\Phi} \tilde{x})} + \frac{\cos[\pi f_N (\Delta\gamma_{\Phi} \tilde{x} + 2\tilde{t} - 2\gamma_{\Phi} \tilde{x})] - 1}{(\Delta\gamma_{\Phi} \tilde{x} + 2\tilde{t} - 2\gamma_{\Phi} \tilde{x})} \right], \quad (3.2.12)$$

– весовая функция цифрового фильтра.

Если параметры фильтра указаны через границы γ_n^{Φ} и γ_e^{Φ} , то выражение (3.2.12) может быть приведено к следующему виду:

$$h(\tilde{t}, \tilde{x}) = \frac{1}{4\pi^4 \tilde{x}} \left[\frac{\cos[2\pi f_N (\gamma_e^{\Phi} \tilde{x} - \tilde{t})] - 1}{2(\gamma_e^{\Phi} \tilde{x} - \tilde{t})} + \frac{\cos[2\pi f_N (\tilde{t} - \gamma_n^{\Phi} \tilde{x})] - 1}{2(\tilde{t} - \gamma_n^{\Phi} \tilde{x})} \right]. \quad (3.2.13)$$

Выражение (3.2.13) характеризует наличие возможности реализации веерной фильтрации в пространственно-временной области [1].

Выражения (3.2.11) характеризуют наличие возможности реализации веерной фильтрации в пространственно-временной области. Вследствие того, что входной сигнал фиксируется в дискретных точках наблюдения по пространственной координате, двумерная свертка преобразуется в сумму одномерных сверток сейсмотрасс с весовой функцией (3.2.12) или (3.2.13), что следует из (3.2.11).

Равным образом, можно осуществить синтез фильтра разделения волн в

виде (3.2.1) в условиях детерминированного диапазона значений γ и априорной неопределенности относительно прочих свойств выделяемых волн. Также, для полей большой длины протяженности параметры фильтра в первом приближении могут быть определены в соответствии с (3.2.4–5).

4. Разработка цифрового алгоритма веерной фильтрации

4.1. Анализ свойств весовой функции веерного фильтра

Рассмотрим значение весовой функции веерного фильтра (3.2.12), то областью определения для выражения (3.2.12) являются все действительные числа за исключением множества, при которых:

1. $x = 0$ и $t = 0$;
2. $x = 0$;
3. $(\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} - 2\tilde{t} + 2\gamma_{\Phi}\tilde{x}) = 0$;
4. $(\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} + 2\tilde{t} - 2\gamma_{\Phi}\tilde{x}) = 0$;

Эти точки являются точками разрыва функции (3.2.12). Рассмотрим поведение функции в этих точках:

$$\lim_{\substack{x \rightarrow 0 \\ t \rightarrow 0}} \frac{1}{4\pi^4 \tilde{x}} \left[\frac{\cos[\pi f_N (\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} - 2\tilde{t} + 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})] - 1}{(\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} - 2\tilde{t} + 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})} + \frac{\cos[\pi f_N (\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} + 2\tilde{t} - 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})] - 1}{(\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} + 2\tilde{t} - 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})} \right] = \frac{-f_n^2 \Delta\gamma}{4\pi^2} \quad (4.1.1)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1}{4\pi^4 \tilde{x}} \left[\frac{\cos[\pi f_N (\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} - 2\tilde{t} + 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})] - 1}{(\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} - 2\tilde{t} + 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})} + \frac{\cos[\pi f_N (\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} + 2\tilde{t} - 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})] - 1}{(\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} + 2\tilde{t} - 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})} \right] =$$

$$-\frac{2\Delta\gamma \left(t\pi f_n \sin(t\pi f_n) \cos(t\pi f_n) - \Delta\gamma \cos(t\pi f_n)^2 + \Delta\gamma \right)}{4t^2 \pi^4}; \quad (4.1.2)$$

$$\lim_{(\Delta\gamma_{\Phi}x - 2t + 2\gamma_{\Phi}x) \rightarrow 0} \frac{1}{4\pi^4 \tilde{x}} \left[\frac{\cos[\pi f_N (\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} - 2\tilde{t} + 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})] - 1}{(\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} - 2\tilde{t} + 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})} + \frac{\cos[\pi f_N (\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} + 2\tilde{t} - 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})] - 1}{(\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} + 2\tilde{t} - 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})} \right] =$$

$$= \frac{\cos(\pi 4t f_n (t - \gamma_{\Phi}x)) - 1}{4\pi^4 x (4t - 4\gamma_{\Phi}x)}; \quad (4.1.3)$$

$$\lim_{(\Delta\gamma_{\Phi}x + 2t - 2\gamma_{\Phi}x) \rightarrow 0} \frac{1}{4\pi^4 \tilde{x}} \left[\frac{\cos[\pi f_N (\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} - 2\tilde{t} + 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})] - 1}{(\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} - 2\tilde{t} + 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})} + \frac{\cos[\pi f_N (\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} + 2\tilde{t} - 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})] - 1}{(\Delta\gamma_{\Phi}\tilde{x} + 2\tilde{t} - 2\gamma_{\Phi}\tilde{x})} \right] =$$

$$= -\frac{\cos(\pi 4t f_n (t - \gamma_{\Phi}x)) - 1}{4\pi^4 x (4t - 4\gamma_{\Phi}x)}; \quad (4.1.4)$$

В каждой из точек все односторонние пределы конечны, а это значит, что все они являются точками устранимого разрыва. Теперь можно записать формулу весовой функции, не имеющей разрывов:

$$h(\tilde{t}; \tilde{x}) = \begin{cases} -\frac{2\Delta\gamma \left(t\pi f_n \sin(t\pi f_n) \cos(t\pi f_n) - \Delta\gamma \cos(t\pi f_n)^2 + \Delta\gamma \right)}{4t^2\pi^4}, & x=0 \\ \frac{-f_n^2\Delta\gamma}{4\pi^2}, & x, t=0 \\ \frac{\cos(\pi 4t f_n(t - \gamma_\phi x)) - 1}{4\pi^4 x(4t - 4\gamma_\phi x)}, & (\Delta\gamma_\phi x - 2t + 2\gamma_\phi x) = 0 \\ -\frac{\cos(\pi 4t f_n(t - \gamma_\phi x)) - 1}{4\pi^4 x(4t - 4\gamma_\phi x)}, & (\Delta\gamma_\phi x + 2t - 2\gamma_\phi x) = 0 \\ \frac{1}{4\pi^4 x} \left[\frac{\cos[\pi f_N(\Delta\gamma_\phi x - 2t + 2\gamma_\phi x)] - 1}{(\Delta\gamma_\phi x - 2t + 2\gamma_\phi x)} + \frac{\cos[\pi f_N(\Delta\gamma_\phi x + 2t - 2\gamma_\phi x)] - 1}{(\Delta\gamma_\phi x + 2t - 2\gamma_\phi x)} \right], & \text{иначе} \end{cases} \quad (4.1.5)$$

На рисунке 6 представлен график весовой функция веерного фильтра (4.1.5), в которой учтены точки разрыва, полученные ранее. Весовая функция построена в пакете MATLAB, код функции представлен в приложении.

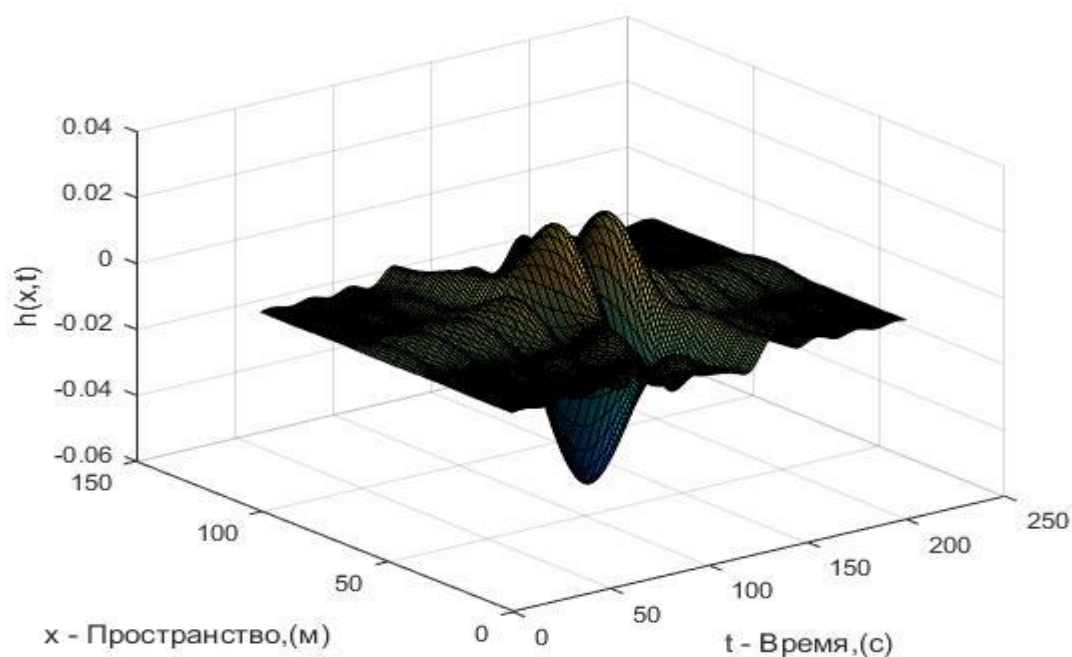


Рисунок 6 – Весовая функция веерного фильтра

4.2. Анализ цифрового алгоритма всеерного фильтра

Проведем исследование весовой функции (3.2.12). Выполним замену переменных.

$$f_N = \frac{1}{2\Delta t}, \quad (4.2.1)$$

где f_N – частота Найквиста.

$$\tilde{t} = i\Delta t, x = j\Delta x. \quad (4.2.2)$$

Выполним замену переменных для границы фильтра [8]:

$$\Delta\gamma = \frac{2\Delta t}{\Delta x}. \quad (4.2.3)$$

Подставим (4.2.1), (4.2.2) и (4.2.3) в (3.2.12), получим следующее выражение:

$$h(i, j) = \frac{1}{8\pi^4 j_{\Delta x \Delta t}} \left[\frac{\cos(\pi(j-i))-1}{j-i} + \frac{\cos(\pi(j+i))-1}{j+i} \right]. \quad (4.2.4)$$

Проверим функцию (4.2.4) на четность и нечетность относительно оси ординат и абсцисс. Для этого в функции (4.2.4) заменив аргументы i на ему противоположный $-i$, и j на $-j$. Получим выражения:

$$h(-i, j) = \frac{1}{8\pi^4 j_{\Delta x \Delta t}} \left[\frac{\cos(\pi(j+i))-1}{j+i} + \frac{\cos(\pi(j-i))-1}{j-i} \right]; \quad (4.2.5)$$

$$h(i, -j) = \frac{1}{8\pi^4 (-j)_{\Delta x \Delta t}} \left[\frac{\cos(\pi(-j-i))-1}{-j-i} + \frac{\cos(\pi(-j+i))-1}{-j+i} \right]. \quad (4.2.6)$$

Сравним полученные выражения (4.2.5), (4.2.6) с функцией (4.2.4). Отсюда получим, что выполняются следующие равенства:

$$h(i, j) = h(-i, j); \quad (4.2.7)$$

$$h(i, j) = h(i, -j). \quad (4.2.8)$$

Так как равенства (4.2.7) и (4.2.8) выполняются то можно сделать вывод, что функция (4.2.4) является четной, относительно аргументов i и j , то есть (4.2.4) не изменяет своего значения при изменении знака переменных i и j , а

также является симметричной относительно оси абсцисс и ординат.

Областью определения для выражения (4.2.4) являются все действительные числа за исключением множества, при которых:

1. $i = 0$ и $j = 0$;
2. $j = 0$;
3. $(j - i) = 0$;

Точки являются точками разрыва функции (4.2.4). Рассмотрим поведение функции в этих точках:

$$\lim_{\substack{j \rightarrow 0 \\ i \rightarrow 0}} \frac{1}{8\pi^4 j \Delta x \Delta t} \left[\frac{\cos(\pi(j-i))-1}{j-i} + \frac{\cos(\pi(j+i))-1}{j+i} \right] = \frac{-1}{8\pi^2 \Delta x \Delta t}; \quad (4.2.9)$$

$$\lim_{j \rightarrow 0} \frac{1}{8\pi^4 j \Delta x \Delta t} \left[\frac{\cos(\pi(j-i))-1}{j-i} + \frac{\cos(\pi(j+i))-1}{j+i} \right] = \frac{-\cos(i\pi) - i\pi \sin(i\pi) + 1}{4i^2 \Delta t \Delta x \pi^4}; \quad (4.2.10)$$

$$\lim_{(j-i) \rightarrow 0} \frac{1}{8\pi^4 j \Delta x \Delta t} \left[\frac{\cos(\pi(j-i))-1}{j-i} + \frac{\cos(\pi(j+i))-1}{j+i} \right] = -\frac{\cos(i\pi)^2 - 1}{8\pi^4 i^2 \Delta x \Delta t}; \quad (4.2.11)$$

Теперь можно записать формулу весовой функции, устранив точки разрыва:

$$h(\tilde{t}; \tilde{x}) = \begin{cases} \frac{-\cos(i\pi) - i\pi \sin(i\pi) + 1}{4i^2 \Delta t \Delta x \pi^4}, j = 0 \\ -\frac{1}{8\pi^2 \Delta x \Delta t}, j, i = 0 \\ \frac{\cos(i\pi)^2 - 1}{8\pi^4 i^2 \Delta x \Delta t}, (j - i) = 0 \\ \frac{1}{8\pi^4 j \Delta x \Delta t} \left[\frac{\cos(\pi(j-i))-1}{j-i} + \frac{\cos(\pi(j+i))-1}{j+i} \right], \text{иначе} \end{cases} \quad (4.2.12)$$

4.3. Разработка адаптивного алгоритма всеерной фильтрации

Допустим, что размахи значений γ полезных волн в каждой точке приема в виде $\Theta_S(x)$ известны. Для наиболее оптимального построения нужны обширные данные о значениях граничных кажущихся скоростей. В процессе

обработки сложных волновых сейсмических полей эта информация, как правило, в реальности или неизвестна, или известна не полностью. В связи с этим крайне важным вопросом является вопрос реализации алгоритмов разделения волн, обладающих способностью к обучению и адаптации при обработке данных.

Для реализации алгоритмов адаптации для преодоления априорной неопределенности применяется предварительное обучение. При рассмотрении задач, необходимых для решения в рамках данной работы, цель обучения заключается в определении неизвестных параметров полезных и мешающих волн на основе зафиксированных реализаций волновых полей. Более того, использование методов оценивания параметров, которые применяют совокупность разработок наблюдаемых полей, обычно невозможно, вследствие того, что подавляющая часть геофизических наблюдений представляет собой результат единичных измерений. Но, учитывая тот факт, что при обработке сейсмических данных происходит работа с крайне объемными выборками, существует возможность построения оптимальных алгоритмов оценки неизвестных параметров на этапе обучения алгоритма адаптации.

В общем виде адаптивный фильтр может быть разработан по схеме обратной связи (рис. 7).

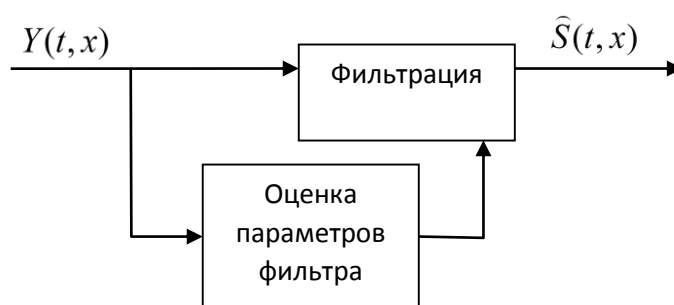


Рисунок 7 – Общая схема адаптивного веерного фильтра

Блок «оценка параметров фильтра» осуществляет решение трех основных задач – сбор и анализ информации, определение значений параметров фильтра.

В том случае, когда в области значений γ полезных волн может быть построена верхняя граница $\gamma_u(x)$ и нижняя граница $\gamma_d(x)$, которая зависима

только от пространственной переменной, процедура **всерной фильтрации с переменными параметрами (ВФПП)** может быть построена следующим образом:

- 1) построение верхней границы $\gamma_u(x)$;
- 2) определение нижней границы области пропускания фильтра по кажущейся скорости - $\gamma_d(x)$, когда $\gamma_u(x) \geq \gamma_s(x)$;
- 3) выбор базы фильтрации $m < U$;
- 4) проведение многократной фильтрации в скользящем окне размером m .

Реализация функции разделения может быть выполнена различными способами. Например, в процессе выбора областей максимального значения спектра, верхняя граница ОМЗС может быть определена, с учетом эффекта Гиббса, следующим образом:

$$\gamma_u(x) = \gamma_s(x) + \frac{1}{f_{\text{верх}} m}, \quad (4.3.1)$$

или как усредненное значение верхней границы γ полезных волн и нижней границы γ полезных волн:

$$\gamma_u(x) = \frac{\gamma_s(x) + \gamma_n(x)}{2}. \quad (4.3.2)$$

Нижняя граница области пропускания фильтра по кажущейся скорости, при учете эффекта Гиббса, должна быть определена следующим образом:

$$\gamma_d(x) = \gamma_n(x) - \frac{1}{f_{\text{верх}} m}. \quad (4.3.3)$$

База фильтрации (ширина окна скольжения) может быть определена различными способами, выбор которого зависит от поведения функции разделения:

1. в качестве величины m выбирается наибольшее возможное значение, которое обеспечивает выполнение следующего условия:

$$\gamma_u(x) \approx \text{const}, \quad \text{для } \forall x \in \left[x' - \frac{m}{2}; x' + \frac{m}{2} \right], \quad \forall x' \in \left[-\frac{U}{2}; \frac{U}{2} \right], \quad (4.3.4)$$

где x' – центр окна скольжения. В пределах окна скольжения разделяющая функция может считаться постоянной.

2. в качестве базы фильтрации m выбирается наибольшая возможная, выбор которой обеспечивает выполнение следующего условия(рис.10):

$$\min_{x \in \left[x' - \frac{m}{2}; x' + \frac{m}{2} \right]} \gamma_n^S(x) \geq \max_{x \in \left[x' - \frac{m}{2}; x' + \frac{m}{2} \right]} \gamma_g^S(x), \quad \text{для } \forall x' \in \left[-\frac{U}{2}; \frac{U}{2} \right], \quad (4.3.5)$$

т.е. области значений кажущихся скоростей полезных волн должны находиться внутри окна скольжения.

Последний этап представляет собой проведение фильтрации в скользящем окне со следующей частотной характеристикой:

$$H_x(ft, fx; x') = \text{rect} \left[\frac{fx + \gamma_\Phi(x') ft}{\Delta \gamma_\Phi(x') ft} \right], \quad (4.3.6)$$

где $\gamma_\Phi(x') = \frac{\gamma_u(x') + \gamma_d(x')}{2}$, $\Delta \gamma_\Phi(x') = \gamma_u(x') - \gamma_d(x')$. Вследствие того, что волновое поле является дискретным, схема, приведенная на рис. 8, предполагает реализацию фильтров, количество которых равно $(2N+1)$. На вход каждого фильтра поступает $\frac{m}{\Delta x}$ -канальных участков волнового поля, на выходе которых подлежит фиксации только один центральный канал.

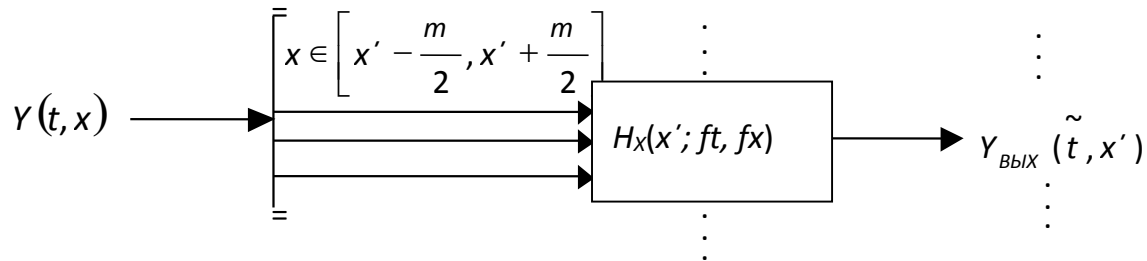


Рисунок 8 – Общая схема реализации ВФПП

На практике существуют такие случаи, в которых размахи значений кажущихся скоростей разделяемых волн перекрываются в обособленных точках

приема. Для увеличения разрешающей способности в подобной ситуации был реализован новый метод разделения волн, который основывается на веерной фильтрации с непостоянными параметрами.

На практике, как правило, точно неизвестны области перекрытия кажущихся скоростей волн. В этой связи дополнительно возникает задача оценивания данной области перекрытия в каждой точке приема. Схема адаптивного веерного фильтра с переменными параметрами в этом случае будет иметь вид (рис. 9):

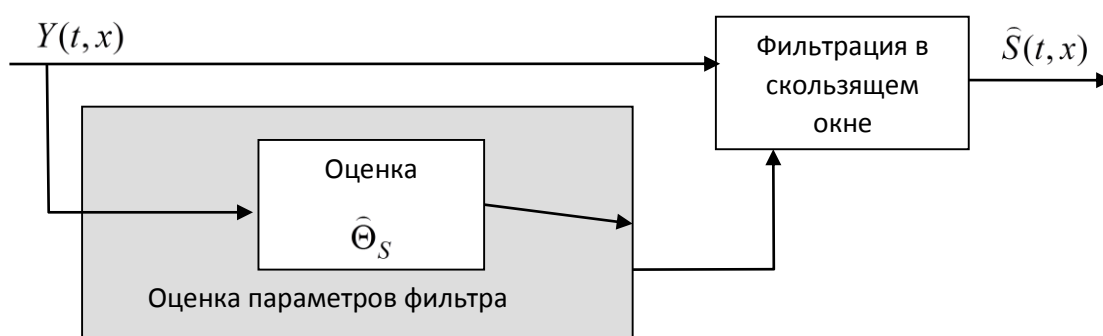


Рисунок 9 – Схема адаптивного ВФПП

Во всех случаях при реализации адаптивной веерной фильтрации требуется оценивание области размаха значений распределения по γ разделяемых волн. Для этих целей можно использовать целый ряд методов, например, таких как: корреляционно-экстремальные методы, методы регулируемого направленного приема (РНП), методы узкополосной перестраиваемой фильтрации по направлению (УПФ)

При анализе существующих на данный момент времени методов было выявлено, что условия априорной неопределенности по характеристикам разделяемых волн при обработке сложных волновых полей позволяют методу оценивания кажущихся скоростей волн, основанному на УПФ, обладать высокой разрешающей способностью. Данный метод позволяет с высокой точностью оценить значения кажущихся скоростей разделяемых волн при наличии интенсивных шумов. Из этого следует, что данный метод следует применять только для оценивания диапазона распределения по γ $\hat{\Theta}_S$ при адаптивном

распределении пачек сейсмических волн.

Метод узкополосной перестраиваемой фильтрации предполагает, что оценка $\hat{\gamma}_s$ полезной волны в некоторой точке наблюдения $\tilde{x}$ осуществляется с помощью поиска положения наибольшего значения энергии отклика УПФ $E_Y(\tilde{x}, \gamma, \gamma_s)$ при его различных угловых положениях в некотором диапазоне значений Ω :

$$\hat{\gamma}_s = \arg \max_{\gamma \in \Omega} E_Y(\tilde{x}, \gamma, \gamma_s). \quad (4.3.7)$$

Каждый пункт приема x_n нуждается в формировании совокупности значений γ полезных волн: $\{\hat{\gamma}_i^S(x_n)\}$, где i – число осей синфазности полезных волн. Из полученных совокупностей могут быть определены области Θ_s согласно следующему правилу:

$$\hat{\Theta}_S(x_n) = [\hat{\gamma}_{\text{ниж}}^S(x_n); \hat{\gamma}_{\text{верх}}^S(x_n)] = \left[\min_i \hat{\gamma}_i^S(x_n); \max_i \hat{\gamma}_i^S(x_n) \right]. \quad (4.3.8)$$

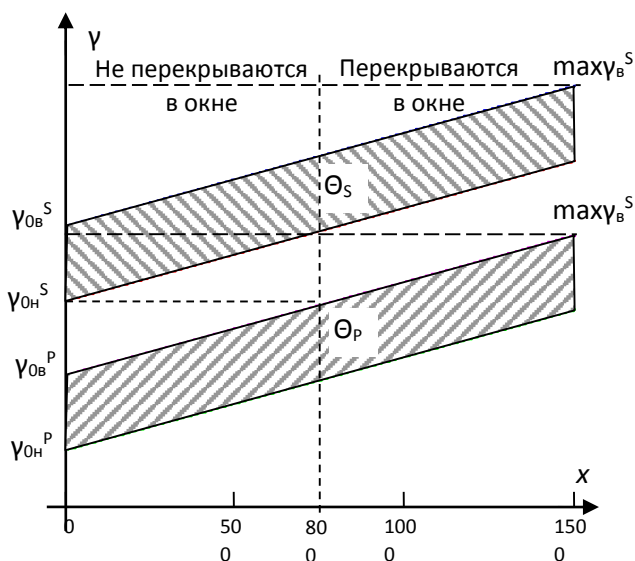


Рисунок 10 – Распределение областей γ полезных и мешающих волн

4.4. Исследование цифрового алгоритма веерного фильтра

Взяв двумерное преобразование Фурье по временной и пространственной координатам от выражения (4.1.5), получим частотную характеристику веерного фильтра.

На рисунках 10–11 построена частотная характеристика 12 и 24 канального веерного фильтра

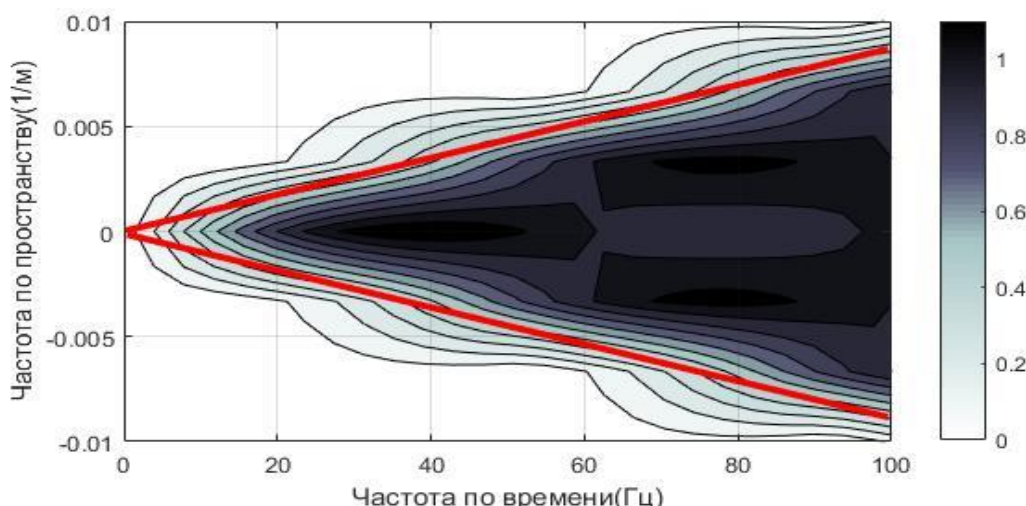


Рисунок 11 – Частотная характеристика 12 канального веерного фильтра.

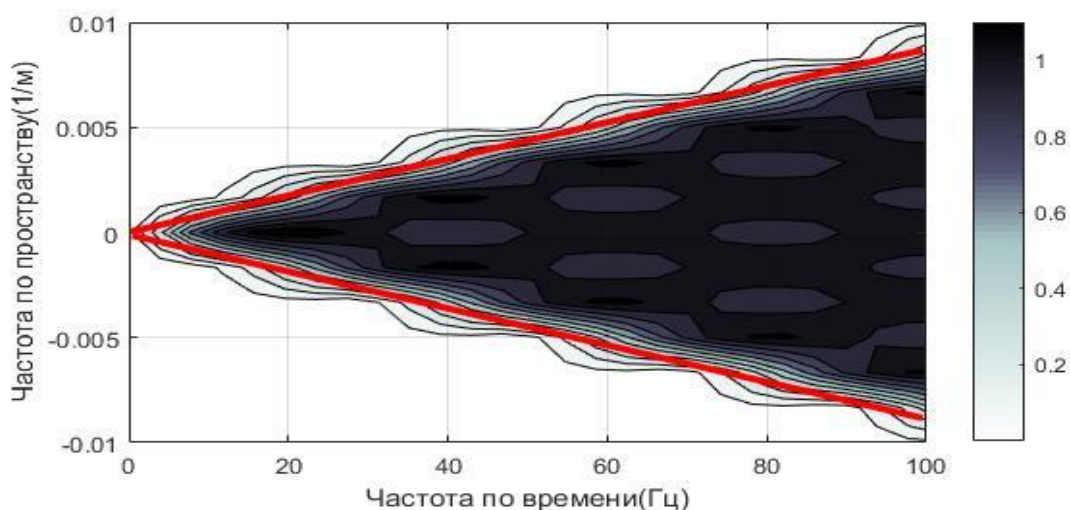


Рисунок 12 – Частотная характеристика 24 канального веерного фильтра.

На рисунках 12а и 12б изображены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) 12-канальных и 24-канальных модифицированный веерный фильтр по нестандартной сетке дискретизации (НМВ) фильтра. На рисунках 12в и 12г построен фильтр с конечно-импульсной характеристикой (КИХ). На данных

рисунках область пропускания идеального веерного фильтра отмечена черными линиями. Параметры фильтра были выбраны согласно $\gamma_{\Phi} = 0$ и $\Delta\gamma_{\Phi} = 2\Delta t / \Delta x$. При подобных параметрах фильтра будет являться частным случаем ситуация, при которой узлы стандартной сетки дискретизации и сетки СМВ и НМВ фильтров совпадут, а $\Delta\gamma_{\Phi}$ выбран наилучшим для реализации КИХ фильтра [1].

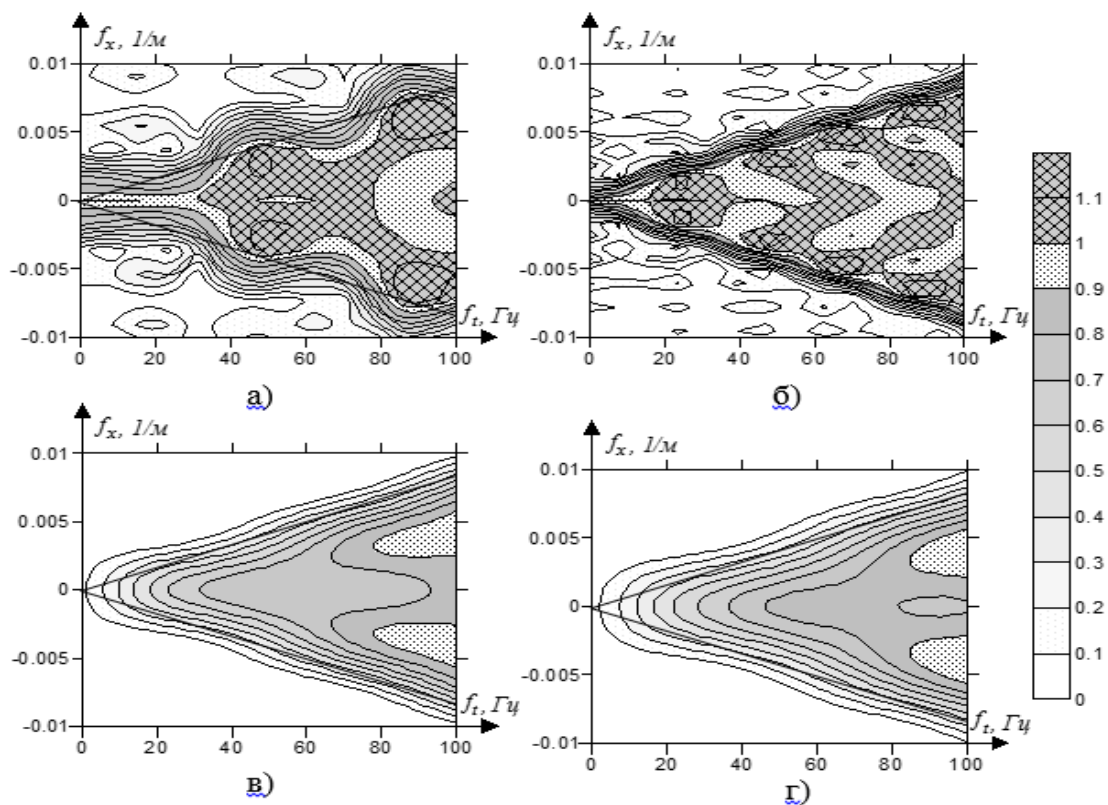


Рисунок 13 – АЧХ НМВ (а, б) и КИХ фильтра (в, г). а, в – 12 канальные фильтры; б, г – 24 канальные фильтры.

При числе каналов равному 12 на рис. 13.а большая часть гармоник пропускается с коэффициентами, близкими к единице, рис. 13.в на низких частотах коэффициент пропускания близок к нулю, но со значения равному 30 Гц увеличивается к верхним частотам, но в случае рис. 11 на низких частотах коэффициент пропускания так же близок к нулю, и со значения равному 15 Гц увеличивается к верхним частотам. В случае рис. 13.в это приводит к почти полному подавлению низких и выборочному подавлению средних частот, а также усилению верхних. При рис. 11 подавление присутствует только при

низких частотах до 15 Гц. Как видно из рис. 13.б, 13.г, 12, увеличение числа каналов до 24 позволяет существенно приблизить область пропускания к идеальному фильтру.

В случае, когда $\gamma_\Phi \neq 0$ а $\Delta\gamma_\Phi \ll \Delta t/\Delta x$, возникают особые проблемы реализации цифровых фильтров. Для КИХ фильтра основной проблемой является неравномерный коэффициент пропускания фильтра. Также далее рассмотрим их частотные характеристики, при узко заданном растворе и направлении не равному нулю $\gamma_\Phi \neq 0$.

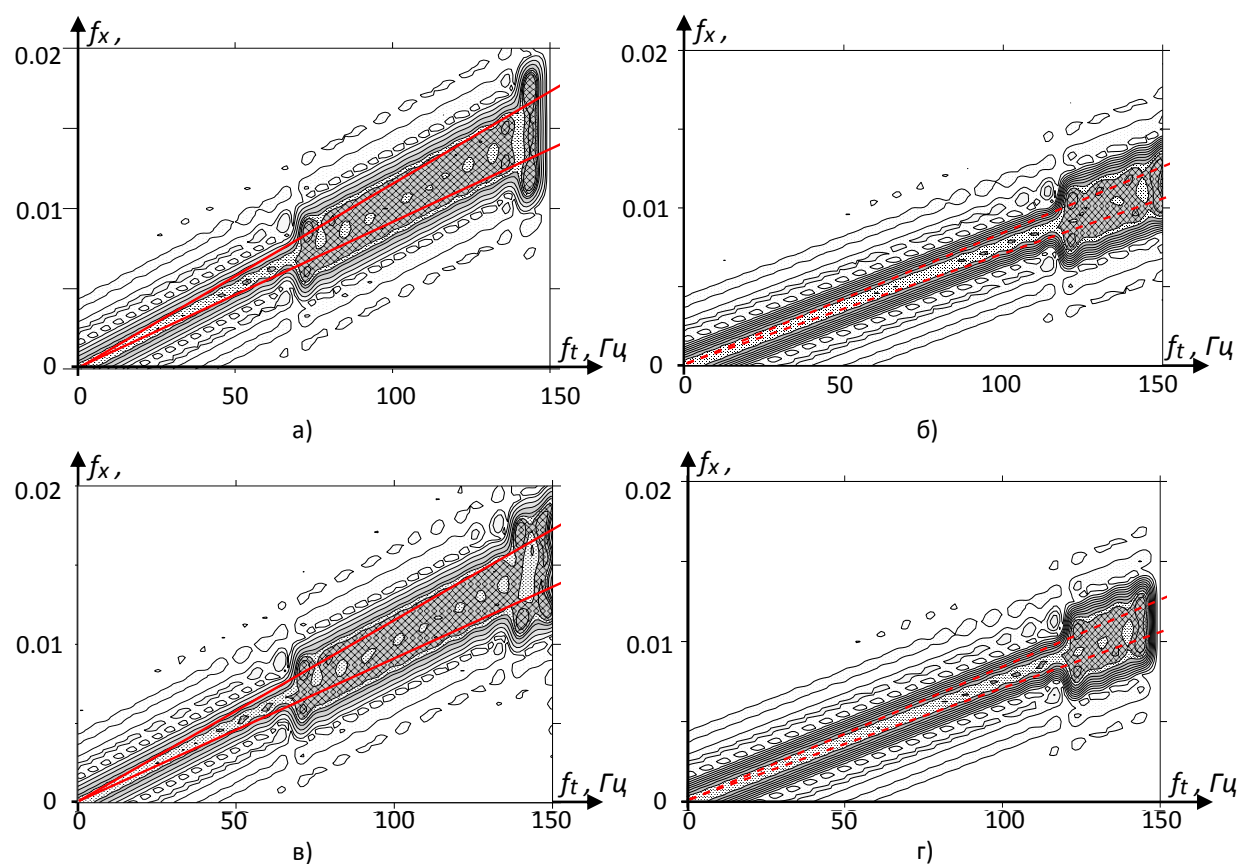


Рисунок 14 – АЧХ СМВ (в, г), НМВ (д,е). а, в, – $\Delta\gamma_\Phi = 2.43 \cdot 10^{-5}$ с/м, $\gamma_\Phi = 10.2 \cdot 10^{-5}$ с/м; б, г – $\Delta\gamma_\Phi = 1.31 \cdot 10^{-5}$ с/м, $\gamma_\Phi = 7.68 \cdot 10^{-5}$ с/м.

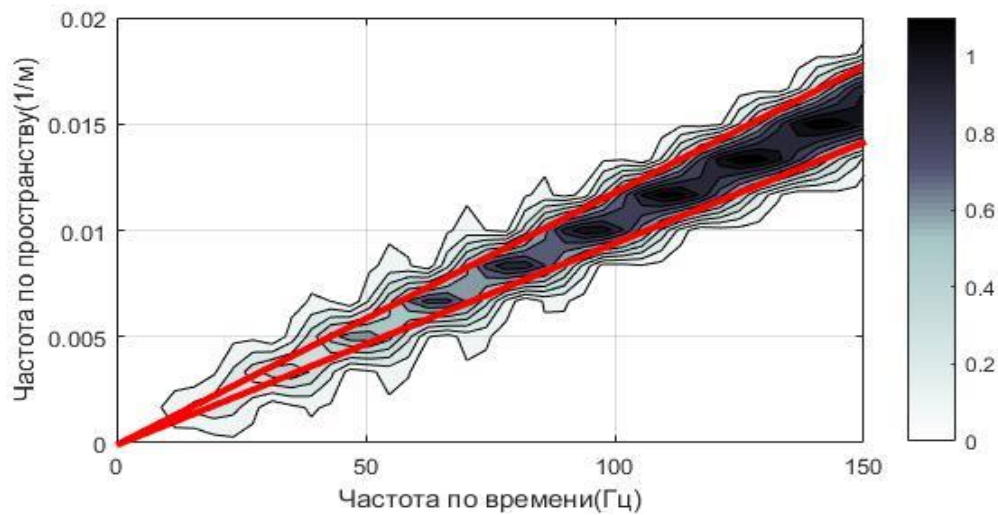


Рисунок 15 – Частотная характеристика веерного фильтра при $\Delta\gamma_\Phi = 2.43 \cdot 10^{-5}$ с/м,
 $\gamma_\Phi = 10.2 \cdot 10^{-5}$ с/м.

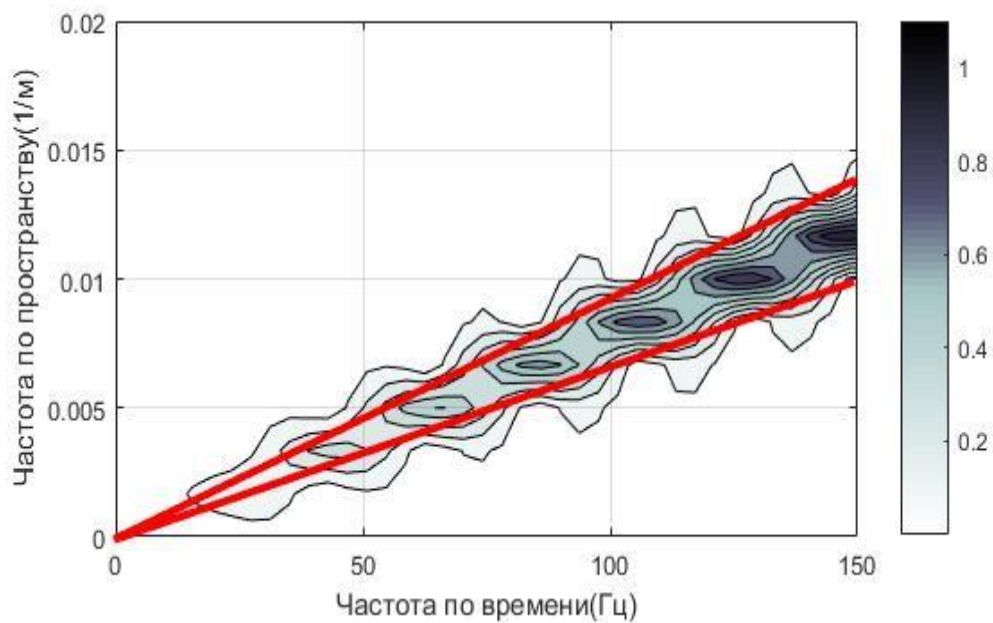


Рисунок 16 – Частотная характеристика веерного фильтра при $\Delta\gamma_\Phi = 1.31 \cdot 10^{-5}$ с/м, $\gamma_\Phi = 7.68 \cdot 10^{-5}$ с/м.

Как видно из рисунков 15–16 при узком растворе фильтра и при большом значении γ_Φ , коэффициент пропускания стандартного фильтра, реализованного в спектральной области, имеет неравномерный характер, что приводит к серьезным искажениям спектра выделяемых волн. В первом случае (рис.15) в наиболее информативных диапазонах частот 0-40 Гц гармоники будут полностью

подавляться. Во втором случае (рис.16) в диапазонах частот 0-60 Гц гармоники будут полностью подавляться. Фильтр в диапазоне низких и средних частот пропускает гармоники с коэффициентом близким к единицы (рис.14.б,г).

4.5. Выбор программной среды

Реализация решаемой задачи может быть осуществлена с использованием различных математических пакетов, таких как MATLAB, Mathcad, C++ Builder и др. В данной работе применяется математический пакет MATLAB.

Язык MATLAB представляет собой язык программирования высокого уровня, и, соответственно, имеет объектно-ориентированный подход к программированию, а также является интерпретируемым языком. Данный язык программирования включает в себя широкий набор всевозможных функций, структуры данных, которые основаны на матрицах, интегрированную среду разработки и интерфейс работы с программами, реализованными на других языках программирования.

С другой стороны, система MATLAB является не только языком программирования, но и операционной системой. Существенным достоинством данной системы является возможность многократного использования программ, написанных на языке программирования MATLAB. В связи с данным фактом можно сделать вывод о том, что для поставленных в текущей работе задач, математический пакет MATLAB подходит наилучшим образом, т.к. пользователь имеет возможность применения специализированных функций, а также экономии времени.

Более того, визуализация данных в MATLAB также является существенным достоинством. В данном математическом пакете существует достаточное количество функций для построения различных графиков, таких как, например, создание трехмерной графики, создание анимации, визуальный анализ данных и т.д. [24].

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные денежные затраты на проект, а также дать хотя бы приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

5.1. SWOT–анализ

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

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Результаты первого этапа SWOT – анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты первого этапа SWOT – анализа

	Положительное влияние	Отрицательное влияние
Внутренняя среда	Сильные стороны: С1. Быстродействие технологии; С2. Быстрое обучение персонала;	Слабые стороны: Сл1.Отсутствие квалифицированных кадров по работе с научной разработкой; Сл2.Необходимость тестирования разработки на

	С3. Наличие бюджетного финансирования; С4. Экологичность технологии.	большом количестве объектов перед внедрением;
Внешняя среда	Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ; В2. Постоянное усовершенствование и расширение функциональных возможностей технологии.	Угрозы: У1. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства; У2. Появление конкурентных разработок в данной сфере.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Результаты второго этапа SWOT – анализа представлены в таблицах 2-5.

Таблица 2

Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны					
Возможности		C1	C2	C3	C4
	B1	-	+	-	-
	B2	-	-	+	-

Таблица 3

Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны					
Угрозы		C1	C2	C3	C4

	У1	-	-	-	-
	У2	-	-	-	-

Таблица 4

Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны				
Возможности		Сл1	Сл2	
	В1	+	-	
	В2	-	-	

Таблица 5

Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны				
Угрозы		Сл1	Сл2	
	У1	-	-	
	У2	+	-	

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приведена в таблице 6.

Таблица 6

Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: Сильные стороны: С1. Быстродействие технологии; С2. Быстрое обучение персонала;	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Отсутствие квалифицированных кадров по работе с научной разработкой; Сл2.Необходимость тестирования разработки
--	--	---

	С3. Наличие бюджетного финансирования; С4. Экологичность технологии.	на большом количестве объектов перед внедрением;
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ; В2. Постоянное усовершенствование и расширение функциональных возможностей технологии.	Наличие бюджетного финансирования снижает затраты на совершенствование и расширение функциональных возможностей технологии;	Привлечение и обучение новых кадров с использованием инфраструктур ТПУ; Постепенное усовершенствование алгоритма.
Угрозы: У1. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства; У2. Появление конкурентных разработок в данной сфере.	(Невозможно выявить пересечения)	Опасность появления конкурентной разработки.

5.2. Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников (научный руководитель и исполнитель) и сроки проведения отдельных работ.

Полный перечень проводимых работ, определение их исполнителей и рациональная продолжительность приведены в таблице 7.

Таблица 7 – 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 – 80% И – 20%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 20%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Выбор среды реализации системы	НР, И	НР – 100% И – 70%
Выбор алгоритма метода	НР, И	НР – 100% И – 80%
Проведение разработки алгоритма метода	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%

Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%
-------------------	-------	----------------------

5.2.1. Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ при выполнении выпускной квалификационной работы является важным этапом, так как мы можем определить трудоемкость проводимых работ, а трудовые затраты составляют основную часть стоимости научно-исследовательской работы (НИР).

Трудоемкость – это максимально допустимые затраты труда в человеко-днях на выполнение НИР с учетом организационно технических мероприятий, обеспечивающих наиболее рациональное использование выделенных ресурсов.

Существуют разные методы расчета продолжительности этапов работ, в рамках данной НИР используется экспертный способ. Он предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию.

Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ $t_{ож}$ применяется следующая формула.

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

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

$$t_{ож} = \frac{3 * 2 + 2 * 4}{5} = 2.8$$

Для выполнения перечисленных в таблице 7 работ требуются специалисты:

- математик-программист – исполнитель НИР;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

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

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.; $K_{ВН}$ – коэффициент выполнения ра-бот, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей; $K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование ра-бот ($K_{Д} = 1,2$).

$$T_{РД} = \frac{2.8}{1} * 1.2 = 3.36$$

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} T_{КАЛ}, \quad (5.3)$$

$$T_{РД} = 3.36 * 1.2 = 4.03$$

где $T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях; $T_{К}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{КАЛ} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (5.4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$); $T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$); $T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$). По формуле (5.4) рассчитаем:

$$T_{КАЛ} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,2.$$

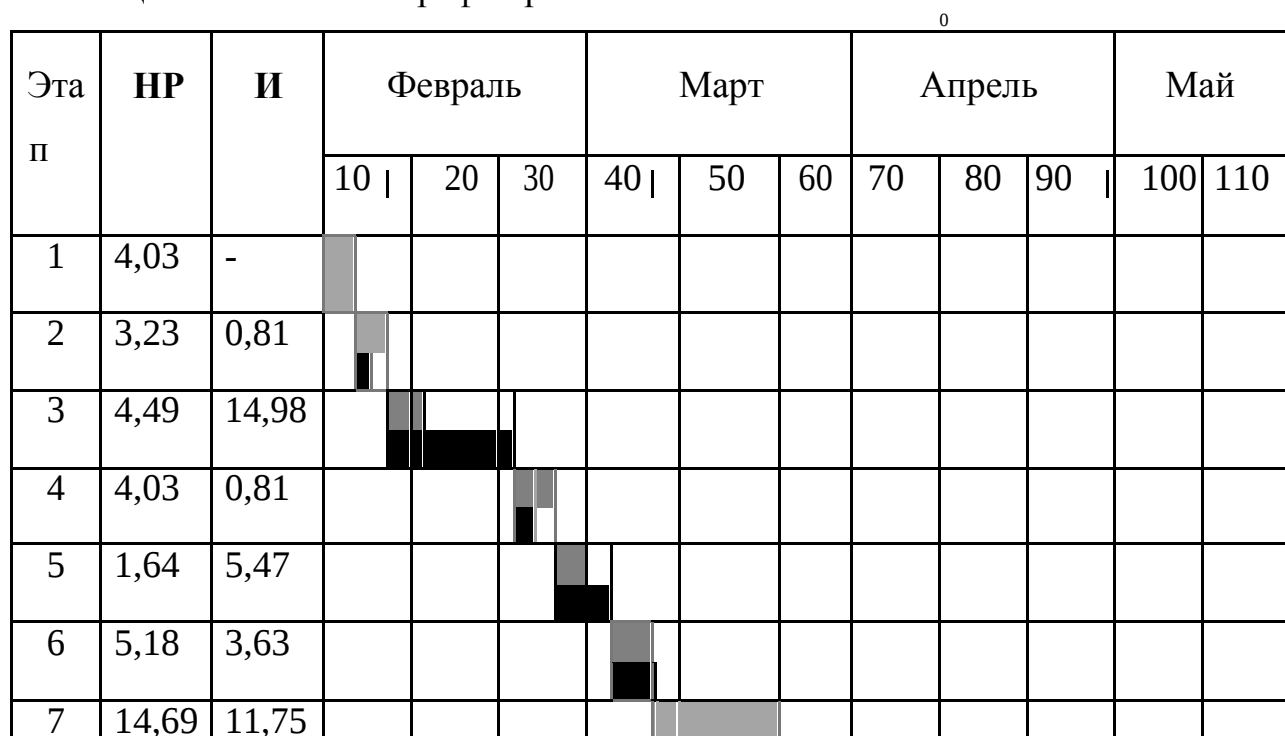
В таблице 8 приведен расчет определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. По показанию полученных величины трудоемкости этапов по исполнителям $T_{\text{КД}}$ построен линейный график осуществления проекта (таблица. 9).

Таблица 8 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел. – дн.			
					$T_{\text{РД}}$		$T_{\text{КД}}$	
		$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$	НР	И	НР	И
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	2,00	4,00	2,80	3,36	-	4,03	-
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	2,00	4,00	2,80	2,69	0,67	3,23	0,81
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	8,00	14,00	10,40	3,74	12,48	4,49	14,98
Разработка календарного плана	НР, И	2,00	4,00	2,80	3,36	0,67	4,03	0,81
Обсуждение литературы	НР, И	3,00	5,00	3,80	1,37	4,56	1,64	5,47
Выбор среды реализации системы	НР, И	2,00	6,00	3,60	4,32	3,02	5,18	3,63

Разработка алгоритма методики	НР, И	7,00	15,00	10,20	12,24	9,79	14,69	11,75
Применение алгоритма методики	И	10,00	16,00	12,40	-	14,88	-	17,86
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	5,00	7,00	5,80	-	6,96	-	8,35
Оформление графического материала	И	4,00	6,00	4,80	-	5,76	-	6,91
Подведение итогов	НР, И	3,00	5,00	3,80	2,74	4,56	3,28	5,47
Итого:				63,20	33,82	63,36	40,58	76,03

Таблица 9 – Линейный график работ



8	-	17,86												
9	-	8,35												
10	-	6,91												
11	3,28	5,47												

НР –  ; И – .

5.3. Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- оплата услуг связи;
- прочие (накладные расходы) расходы.

5.3.1. Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{эл.об.} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot ЦЭ, \quad (5.5)$$

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $ЦЭ$ – тариф на 1 кВт·час; $t_{об}$ – время работы оборудования, час.

В Томском политехническом университете $ЦЭ = 5,257$ руб./кВт·час с учетом налога на добавленную стоимость.

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 5.2 для инженера (T_{PD}) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{об} = T_{PD} \cdot K_t, \quad (5.6)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к T_{PD} , определяется исполнителем самостоятельно.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{ОБ} = P_{ном.} \cdot K_C, \quad (5.7)$$

где $P_{ном.}$ – номинальная мощность оборудования, кВт; $K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Расчет затраты на электроэнергию для технологических целей представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность РОБ, кВт	Затраты ЭОБ, руб.
Персональный компьютер	640*0,8	0,4	1 076,63
Струйный принтер	20	0,2	21,028
Итого:			1 097,658

5.3.2. Расчет заработной платы

Смета затрат на оплату труда в большинстве случаев составляет наибольшую часть себестоимости ВКР. Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{21,83}, \quad (5.8)$$

учитывающей, что в году 298 рабочих дней и, следовательно, в месяце в среднем 21,83 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Расчеты затрат на полную заработную плату приведены в таблице 11. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 8. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{ПР} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,113$; $K_p = 1,3$.

Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент.

Таблица 11 – Расчет затрат на полную заработную плату

Исполни- тель	Оклад, руб./мес .	Средне- днев ная ставка, руб./раб.ден ь	Затра- ты време- ни, раб.дн и	Коэффици- ент	Фонд з/платы, руб.
НР	23264,86	1065,73	34	1,3	47105,3
И	3000	137,42	64	1,3	11433,3
Итого:					58538,6

5.3.3. Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата рассчитывается:

$$C_{\text{доп.з/п.}} = C_{\text{НР}} \cdot 0,12.$$

Значит:

$$C_{\text{доп.з/п.}} = 47105,3 \cdot 0,12 = 5652,6.$$

5.3.4. Расчет затрат на отчисления во внебюджетный фонд

Затраты на единый социальный налог, включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 27 % от полной заработной платы по проекту, то есть:

$$C_{\text{соц.}} = C_{\text{зн}} \cdot 0,271. \quad (5.9)$$

Итак, в нашем случае:

$$C_{\text{соц.}} = 58538,6 \cdot 0,271 = 15863,9.$$

5.3.5. Расчет амортизационных расходов

В данном разделе рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта по формуле:

$$C_{\text{ам}} = \frac{H_A \cdot C_{\text{об}} \cdot t_{\text{пф}} \cdot n}{F_{\text{д}}}, \quad (5.10)$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования ($H_A=0,4$);

$Ц_{ОБ}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.; F_d – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку C_{AM} ($F_d = 298 \cdot 8 = 2384$ часа); n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Рассчитаем амортизацию используемого компьютера по формуле (5.10):

$$C_{AM} = \frac{0,4 \cdot 40000 \cdot 20 \cdot 0,8}{2384} = 3436 \text{ руб.}$$

Рассчитаем амортизацию используемого принтера по формуле (5.10), где стоимость принтера 10000 руб., его $F_d = 500$ час.; $H_A = 0,5$:

$$C_{AM} = \frac{0,5 \cdot 10000 \cdot 20 \cdot 1}{500} = 200 \text{ руб.}$$

5.3.6. Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, к ним относятся содержание оргтехники, услуги связи, представительные расходы и другие. Их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{доп.з/п}} + C_{\text{зн}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1 \quad (5.11)$$

Найдем прочие расходы по формуле (5.11) учитывая данные полученные выше:

$$C_{\text{проч.}} = (5652,6 + 58538,6 + 15863,9 + 1\,097,658 + 3436) \cdot 0,1 = 17452,2.$$

5.3.7. Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Разработка и исследование адаптивной веерной фильтрации». Смета затрат на разработку представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Основная заработная плата	$C_{\text{зн}}$	58538,6
Дополнительная заработная плата	$C_{\text{доп.з/п}}$	5652,6
Отчисления во внебюджетные фонды	$C_{\text{соц}}$	15863,9
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1 097,658
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	3436
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	8458,9
Итого:		93047,7

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 93047,7$ руб.

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

Результатом научно-исследовательской работы является адаптивный алгоритм веерной фильтрации.

Данный проект предполагает получение экономической, социологической и ресурсной эффективности.

Фактором экономической и социологической эффективности разработки является то, что разработан новый цифровой алгоритм веерной фильтрации, позволяющий обрабатывать сейсмические данные с большим быстродействием.

В качестве фактора экономической, социологической и ресурсной эффективности можно выделить внутриорганизационную выгоду: экономия времени.

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

6.1. Аннотация

Представление понятия «Социальная ответственность» сформулировано в международном стандарте (МС) IC CSR-08260008000: 2011 «Социальная ответственность организации».

В соответствии с МС - Социальная ответственность - ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое:

содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;

учитывает ожидания заинтересованных сторон;

соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность);

интегрировано в деятельность всей организации и применяется во всех ее взаимоотношениях (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность).

6.2. Введение

Объектом исследования является интерференционное волновое поле. Целью работы является создание эффективного цифрового алгоритма разделения волн, основанного на направленной веерной фильтрации. Во время выполнения проекта «Разработка и исследование адаптивной веерной фильтрации» выполнялись работы, связанные построением алгоритмов, производением расчетов и вычислений, анализом информации, программированием.

В связи с тем, что работа связана непосредственно с компьютером, то такая работа может отрицательно воздействовать на здоровье человека. Во-первых,

большую угрозу несёт монитор компьютера, так как он является источником электромагнитного поля. Во-вторых, неподвижная напряжённая поза в течение продолжительного временного периода способствует быстрому переутомлению и появлению болевых ощущений в области позвоночника, плечевых суставов, шеи. Однако, наиболее сильной нагрузке подвергаются глаза человека. Еще один немаловажный фактор – это работа с клавиатурой. Данный вид работы вызывает боль в локтевых суставах, запястьях, кистях и пальцах рук.

6.3. Производственная безопасность

6.3.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

В данном подразделе производится анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы рабочего места разработчика представлены в таблице 13.

Таблица 13

Перечень опасных и вредных факторов технологии производства

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003 - 74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	

1) Электронно-вычислительная машина; 2) система отопления; 3) система вентиляции; 4) источник освещения.	Освещенность рабочей зоны; Естественное освещение; Шум; Электромагнитные излучения; Напряжённость электрического поля; Микроклимат.	Статическое электричество; Электрический ток.	Параметры шума устанавливаются СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [26]. Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96 [27]. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03[28]. Параметры естественного и искусственного освещения устанавливаются СНиП 23-05-95 [20]. ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность [31].
--	---	---	--

Эти факторы могут влиять на состояние здоровья, привести к травмоопасной или аварийной ситуации, поэтому следует установить эффективный контроль за соблюдением норм и требований, предъявленных к их параметрам.

6.3.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на производстве при внедрении объекта исследования

В связи с тем, что для работы ПЭВМ и периферийных устройств используется электрическая энергия, их эксплуатация должна соответствовать «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

С этой точки зрения ПЭВМ являются потенциальными источниками опасности поражения человека электрическим током. Данная опасность может возникнуть, в первую очередь, при нарушении правил подключения ЭВМ к питающей сети.

Поражение электрическим током организма человека носит название электро-травмы. Проходя через организм человека, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое действие.

Первое заключается в нагреве и ожогах различных частей и участков тела человека, второе – в изменении состава (разложение) и свойств крови и других органических жидкостей. Биологическое действие электрического тока выражается в раздражении и возбуждении живых тканей организма и в нарушении протекания в нем различных внутренних биоэлектрических процессов (прекращение процесса дыхания и остановка сердца) [29].

Во время использования средства вычислительной техники или другими периферийными устройствами оператор должен осторожно обращаться с электропроводкой, аппаратами и приборами и всегда помнить, что, если не придерживаться правил безопасности, то это может угрожать здоровью и жизни человека.

Чтобы избежать поражения электрическим током, необходимо выполнять следующие правила по [31]:

1. Необходимо постоянно следить на своем рабочем месте за исправным состоянием электропроводки, выключателей, штепсельных розеток, при помощи которых оборудование включается в сеть, и заземления. При обнаружении неисправности немедленно обесточить электрооборудование, оповестить администрацию. Продолжение работы возможно только после устранения неисправности.

2. Для исключения поражения электрическим током запрещается:

а) часто включать и выключать компьютер без необходимости;
б) прикасаться к экрану и к тыльной стороне блоков компьютера;
в) работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании мокрыми руками;

г) работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса, нарушения изоляции проводов, неисправную индикацию включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе

д) класть на средства вычислительной техники и периферийное оборудование посторонние предметы.

3. Запрещается под напряжением очищать от пыли и загрязнения электрооборудование.

4. Ремонт электроаппаратуры производится только специалистами-техниками с соблюдением необходимых технических требований.

Во всех случаях поражения человека электрическим током немедленно вызывают врача. До прибытия врача нужно, не теряя времени, приступить к оказанию первой помощи пострадавшему [31].

6.3.3. Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов (техника безопасности и производственная санитария)

Требование к помещениям для работы с ПЭВМ

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) эти помещения должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с ВДТ на базе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) должна составлять не менее 6 м² и с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) 4,5 м².

Для внутренней отделки интерьера помещений с ПЭВМ должны использоваться диффузионно-отражающие материалы с коэффициентом отражения от потолка – 0.7 - 0.8; для стен – 0.5 - 0.6; для пола – 0.3 - 0.5.

Шум

Шум - колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью спектральной и временной структуры. Шум создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывая на него психологическое воздействие. Шумовой фон провоцирует увеличение содержания в крови гормонов стресса, таких как, норадреналин и адреналин, кортизол. Шум способен замедлять реакцию человека и угнетать центральную нервную систему (ЦНС), вызывая изменения скорости пульса и дыхания, а также провоцирует возникновение сердечно - сосудистых заболеваний, гипертонических болезней и язвы желудка [26].

Шум, возникающий при работе производственного оборудования и превышающий нормативные значения, воздействует на центральную и вегетативную нервную систему человека, органы слуха. Человек, постоянно подвергающийся воздействию шума, быстро переутомляется, отличается повышенной раздражительностью, становится забывчивым, чаще страдает от слабости и головокружения. Уровень звука на рабочих местах, связанных с творческой деятельностью, научной деятельностью, программированием,

преподаванием и обучением не должен превышать 50 дБА согласно СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [26].

Меры, которые необходимо принять, для того чтобы помещение было менее зашумленным – это обеспечить нормальную вентиляцию системного блока. Для охлаждения необходимо оборудовать со стороны вентиляционных отверстий хотя бы 20-30 см свободного пространства. Не загромождать оборудование посторонними предметами, которые снижают теплоотдачу, очищать вентиляционные отверстия от пыли пылесосом.

При выполнении работ, описанных выше, специалист может оказаться под шумовым воздействием со стороны оборудования, находящегося в рабочем помещении: ПК, печатающие устройства, оборудование поддержки микроклимата (кондиционеры, вентиляция) и пр.

Микроклимат

Системы отопления, несмотря на свою пользу, имеют и негативную сторону. Как центральное отопление, так и обогреватели сушат воздух. Пересушенный воздух при критических показателях создает неоспоримую опасность для здоровья человека: способствует возникновению инфекций, провоцирует дерматиты, обострение аллергических заболеваний и астмы.

В помещениях, где установлены компьютеры, должны соблюдаться определенные параметры микроклимата. Эти нормы устанавливаются в зависимости от времени года, характера трудового процесса и характера производственного помещения. Работа инженера-программиста относится к категории работ Ia, в которую входят работы с интенсивностью энергозатрат до 139Вт, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением. Оптимальные параметры микроклимата для этой категории работ приведены в таблице 14 по СанПиН 2.2.548-96 [27]. Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры, приведены в таблице 15 по СанПиН 2.2.548-96 [27].

В кабинете, который является местом работы инженера-программиста, параметры микроклимата находятся в пределах нормы.

Таблица 14

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений по СанПиН 2.2.2.548-96

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
Теплый	Ia (до 139)	23 - 25	22 - 26	60 - 40	0,1

Таблица 15

Допустимые величины показателей микроклимата по СанПиН 2.2.2.548-96

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более**
Холодный	Ia (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75*	0,1	0,1
Теплый	Ia (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75*	0,1	0,2

Допустимые параметры микроклимата обеспечиваются таким сочетанием количественных параметров, которое при длительном и систематическом воздействии на человека может вызвать преходящие и быстро нормализующиеся изменения функционального и теплового состояния организма, сопровождающиеся напряжением механизмов терморегуляции, не выходящим за пределы физиологических приспособительных возможностей.

При этом не возникает повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут наблюдаться ухудшение самочувствия и снижение работоспособности.

Электромагнитные излучения

Когда все устройства персонального компьютера включены, в районе рабочего места программиста, формируется сложное по структуре электромагнитное поле. Реальную угрозу для пользователя компьютера представляют электромагнитные поля. Влияние их на организм человека не обходится без последствий. Исследования показали, что в организме человека под влиянием электромагнитного излучения монитора происходят значительные изменения гормонального состояния, специфические изменения биотоков головного мозга, изменение обмена веществ. Пыль, притягиваемая электростатическим полем монитора, иногда становится причиной дерматитов лица, обострения астматических симптомов, раздражения слизистых оболочек [19, 20].

Источником электромагнитного поля и электромагнитных излучений на рабочем месте является компьютер, в частности, экран монитора компьютера. Электромагнитное поле, создаваемое ПК, имеет сложный спектральный состав в диапазоне частот от 0 Гц до 1000 МГц, и в том числе мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана при любых положениях ПК не должна превышать 100 мкР/час [25].

Для снижения воздействия электромагнитного излучения следует применять мониторы с пониженным уровнем излучения, также устанавливать защитные экраны, придерживаться регламентированного режима труда и отдыха, а также проводить регулярную гигиеническую уборку помещения.

Время работы на ПК по санитарным нормам не должно превышать четыре часа.

Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений от монитора компьютера представлены в таблице 16.

Таблица 16

Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных
излучений ПО ГОСТ 12.1.045–84 [26]

Наименование параметра	Допустимые значения
Напряженность электрической составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности видеомонитора	10 В/м
Напряженность магнитной составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности видеомонитора	0,3 А/м
Напряженность электростатического поля не должна превышать: – для взрослых пользователей – для детей дошкольных учреждений и учащихся средних специальных и высших учебных заведений	20 кВ/м 15 кВ/м

Предельно-допустимые нормы ЭМП представлены в таблице 17.

Таблица 17

Предельно допустимые нормы ЭМП ПО ГОСТ 12.1.045–84 [26]

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Для соблюдения нормативов следует руководствоваться следующими правилами согласно [28]:

Выбирайте монитор с жидкокристаллическим экраном. Излучение таких мониторов гораздо менее интенсивное, нежели у мониторов с электроннолучевой трубкой;

По возможности постарайтесь расположить монитор в углу помещения. Таким образом, стены будут поглощать электромагнитное излучение, испускаемые боковыми и задними стенками;

Выключать монитор, даже если на короткое время отходите от рабочего места;

Монитор должен стоять на расстоянии вытянутой руки от вашего кресла.

По возможности системный блок лучше расположить как можно дальше от вас;

Выключайте компьютер, если вы больше не собираетесь им пользоваться;

По возможности сокращайте время, проводимое за компьютером.

Так как профессиональная деятельность программиста проходит перед экраном монитора необходимо чаще прерывать работу. Для этого достаточно просто пройтись.

Освещение

Естественное освещение создается прямыми солнечными лучами или рассеянным светом небосвода. Такое освещение следует предусматривать для всех складских, производственных, санитарно-бытовых, жилых и административных помещений. Спектр естественного освещения является наиболее благоприятным для человеческого глаза. Ультрафиолетовое излучение, входящее в состав спектра солнечного света, имеет огромное значение для здоровья человека, но тем не менее оно практически полностью задерживается при прохождении сквозь стекло, и не проникает внутрь помещений.

Для искусственного освещения помещений используются лампы накаливания и газоразрядные лампы. Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь естественное освещение, соответствующее требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Но помимо естественного освещения, офис должен обладать системой общего освещения. Системы комбинированного освещения рекомендуется применять в

помещениях общественных зданий, где выполняется напряженная зрительная работа. В таблице 4 представлены нормы освещенности.

Работа за персональным компьютером (ПК) относится к зрительным работам высокой точности для любого типа помещений. Столбцы таблицы 18 содержат следующие сведения:

- 1 – характеристика зрительных работ;
- 2 – наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм;
- 3 – разряд зрительной работы;
- 4 – подразряд зрительной работы;
- 5 – относительная продолжительность зрительной работы, %;
- 6 – освещенность на рабочей поверхности от системы общего искусственного освещения, лк;
- 7 – цилиндрическая освещенность, лк;
- 8 – показатель дискомфорта;
- 9 – коэффициент пульсации освещенности, %;
- 10 – КЕО при верхнем освещении, %;
- 11 – КЕО при боковом освещении, %.

Таблица 18

Нормирование освещённости для работы за ПК по СанПиН

2.2.2/2.4.1340–03

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Высокой точности	От 0,3	Б	1	Более 70	300	100	40	15	3,0	1,0
	От 0,5		2	Менее 70	200	75	60	20	2,5	0,7

Искусственное освещение в помещениях эксплуатации компьютеров должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

Искусственное освещение выполняется посредством электрических источников света двух видов: ламп накаливания и люминесцентных ламп.

Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК, представлены в таблице 19.

Таблица 19

Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК по
СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03

Освещенность на рабочем столе	300-500 лк
Освещенность на экране ПК	не выше 300 лк
Блики на экране	не выше 40 кд/м ²
Прямая блескость источника света	200 кд/м ²
Показатель ослеплённости	не более 20
Показатель дискомфорта	не более 15
Отношение яркости:	
– между рабочими поверхностями	3:1–5:1
– между поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации:	не более 5 %

Приведем расчет искусственного освещения в помещении, структурный план которого представлен на рисунке 17

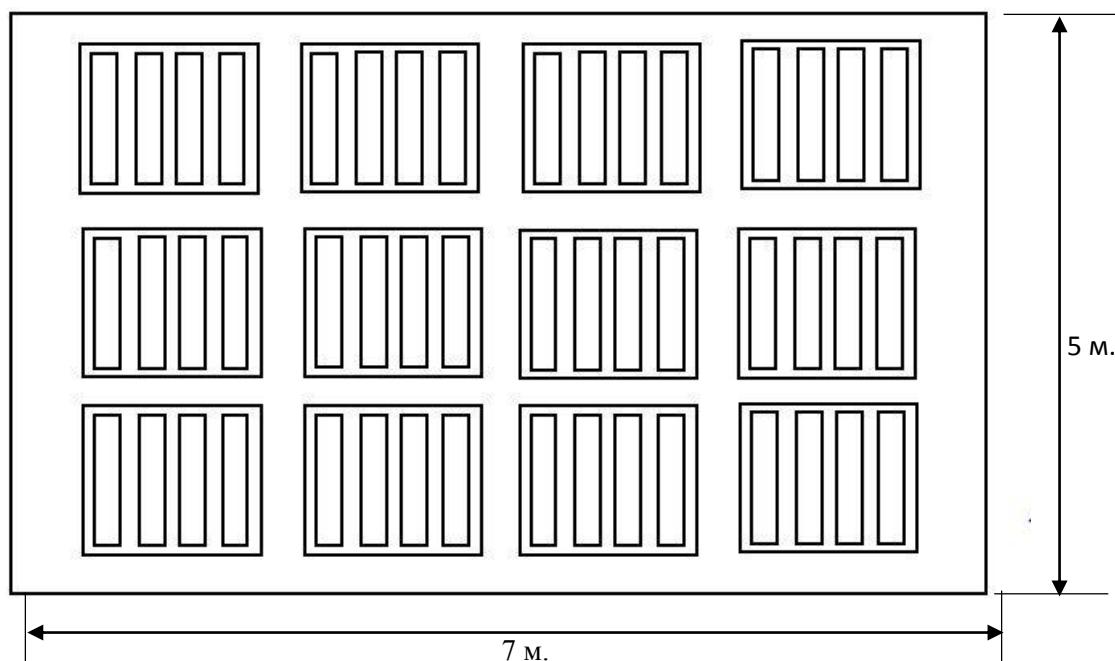


Рисунок 17. План размещения светильников в рабочей аудитории

Рассмотрим офисное помещение, в котором производились работы, с размерами: длина $A = 5$ м, ширина $B = 7$ м, высота $H = 4$ м. Всего имеется шесть

светильников, по четыре лампы в каждом. Фактическая освещённость рассчитывается по следующей формуле:

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot n \cdot \Phi_{\text{ст}} \cdot \gamma}{S \cdot K \cdot z}, \quad (1)$$

где N – число светильников, шт; n – число ламп в светильнике, шт; $\Phi_{\text{ст}}$ – световой поток люминесцентной лампы, лм (при мощности 11 Вт – 750 лм); γ – коэффициент использования светового потока (для исследуемого помещения – 0.8); S – площадь помещения, м^2 ; K – коэффициент запаса (помещения с малым выделением пыли – 1,5); z – коэффициент неравномерного освещения (для люминесцентных ламп – 1,1).

Получаем

$$E_{\phi} = 249 \text{ лк.}$$

Отличие от нормированного уровня

$$\Delta E = \frac{E_{\phi} - E_{\text{норм}}}{E_{\text{норм}}} \cdot 100 \%. \quad (2)$$

В результате получаем $-10 \% \leq 17 \% \leq +20 \%$. Полученное значение попадает в необходимый интервал, значит, нормы освещённости в рабочем помещении соблюдаются.

Электрический ток

Помещение, в котором производились работы, относится к первому классу помещений - помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность по ПУЭ (6-е изд.) разд. 1.1.13.

На рабочем месте располагаются два монитора, клавиатура, мышь и системный блок. Токи статического электричества, на корпусах мониторов, системного блока, мыши и клавиатуры, могут привести к возникновению разрядов при прикосновении к данным элементам. Такие разряды опасности особой для человека не представляют. Но при возникновении заряда с довольно большим электрическим потенциалом порождает электрическое поле с повышенной напряженностью, которое может нанести вред человеку. При

продолжительном пребывании человека в таком поле наблюдаются изменения в центральной нервной, сердечно-сосудистой системах. Также избыточный электрический заряд может способствовать к выходу компьютера из строя. Для уменьшения величин токов статического электричества используют нейтрализаторы, увлажнители воздуха.

Перед началом работы следует убедиться в отсутствии свешивающихся со стола или висящих под столом проводов электропитания, в целостности вилки и провода электропитания, в отсутствии видимых повреждений аппаратуры и рабочей мебели, в отсутствии повреждений и наличии заземления приэкранного фильтра.

Методы защиты от воздействия статического электричества:

влажная уборка, чтобы уменьшить количество пылинок в воздухе и на предметах офиса;

использование увлажнителей воздуха;

защитное заземление;

применение средств индивидуальной защиты, таких как антистатические спреи и браслеты.

Допустимый ток частотой 50 Гц при длительности воздействия более 10 секунд составляет 2 мА, а при длительности 10 секунд и менее – 6 мА. Для переменного тока эта величина соответственно равна 10 и 15 мА.

Методы защиты от опасности поражения электрическим током:

проведение ряда организационных мероприятий (обучение, инструктаж, аттестация и переаттестация лиц электротехнического персонала и пр.) с ссылками на нормативно-техническую документацию;

электрическая изоляция токоведущих частей (сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм);

ограждение токоведущих частей, которые работают под напряжением;

использование малых напряжений, например, не более 50 В;

электрическое разделение сетей на отдельные короткие участки;

защитное заземление и зануление;
применение средств индивидуальной защиты, таких как плакаты и знаки безопасности, изолирующие подставки, указатели напряжения.

Психофизиологические факторы

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

Существуют следующие меры по снижению влияния монотонности:

- необходимо применять оптимальные режимы труда и отдыха в течение рабочего дня;
- соблюдать эстетичность производства.

Для уменьшения физических нагрузок организма во время работы рекомендуется использовать специальную мебель с возможностью регулировки под конкретные антропометрические данные, например, эргономичное кресло.

6.4. Экологическая безопасность

Рассмотрим загрязнения литосферы в результате исследовательской деятельности бытовым мусором, на примере люминесцентных ламп. Их эксплуатация требует осторожности и четкого выполнения инструкции по обращению с данным отходом (код отхода 35330100 13 01 1, класс опасности – 1[24]). В данной лампе содержится опасное вещество ртуть в газообразном состоянии. При не правильной утилизации, лампа может разбиться и пары ртути могут попасть в окружающую среду. Вдыхание паров ртути может привести к тяжелому повреждению здоровья.

При перегорании ртутьсодержащей лампы (выходе из строя) её замену осуществляет лицо, ответственное за сбор и хранение ламп (обученное по электробезопасности и правилам обращения с отходом). Отработанные

люминесцентные лампы сдаются только на полигон токсичных отходов для захоронения. Запрещается сваливать отработанные люминесцентные лампы с мусором [25].

Бытовой мусор помещений организаций несортированный, образованный в результате деятельности работников предприятия (код отхода 91200400 01 00 4). Агрегатное состояние отхода твердое; основные компоненты: бумага и древесина, металлы, пластмассы и др [24]. Для сбора мусора рабочее место оснащается урной. При заполнении урны, мусор выносится в контейнер бытовых отходов. Предприятие заключает договор с коммунальным хозяйством по вывозу и размещению мусора на организованных свалках.

6.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.5.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Перечень возможных ЧС на объекте исследования может быть достаточно широк. Ограничиваясь местоположением объекта и условиями его эксплуатации, его можно представить следующим (ориентировочным) вариантом:

- наводнение;
- удар молнии;
- пожар на объекте;
- взрыв.

В этом разделе наиболее актуальным будет рассмотрение вида ЧС – пожар, определение категории помещения по пожаро- и взрывобезопасности в котором происходит управление технологическим процессом, то есть аудитория КЦ–105 НИ ТПУ и регламентирование мер противопожарной безопасности.

Рабочее место оператора поста управления, должно соответствовать требованиям ФЗ Технический регламент по ПБ и норм пожарной безопасности

(НПБ 105-03) и удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по ГОСТ 12.1.004-91 и СНиП 21-01-97.

По пожарной, взрыва, взрывопожарной опасности помещение относится к категории Д, т.е. к помещению, в котором находятся негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Основным поражающим фактором пожара для помещений данной категории является наличие открытого огня и отравление ядовитыми продуктами сгорания оборудования.

6.5.2. Обоснования мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Пожарная защита должна обеспечиваться применением средств пожаротушения, а также применением автоматических установок пожарной сигнализации.

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности:

- обеспечение эффективного удаления дыма, т.к. в помещениях, имеющих оргтехнику, содержится большое количество пластиковых веществ, выделяющих при горении летучие ядовитые вещества и едкий дым;
- обеспечение правильных путей эвакуации;
- наличие огнетушителей и пожарной сигнализации;
- соблюдение всех противопожарных требований к системам отопления и кондиционирования воздуха.

Для тушения пожаров на участке производства необходимо применять углекислотные (ОУ-5 или ОУ-10) и порошковые огнетушители (например, типа ОП-10), которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем

действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем.

Помещение (КЦ НИ ТПУ) оборудовано пожарными извещателями, которые позволяют оповестить дежурный персонал о пожаре. В качестве пожарных извещателей в помещении устанавливаются дымовые фотоэлектрические извещатели типа ИДФ-1 или ДИП-1.

Выведение людей из зоны пожара должно производиться по плану эвакуации.

План эвакуации представляет собой заранее разработанный план (схему), в которой указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации по п. 3.14 ГОСТ Р 12.2.143-2002.

Согласно Правилам пожарной безопасности, в Российской Федерации ППБ 01-2003 (п. 16) в зданиях и сооружениях (кроме жилых домов) при одновременном нахождении на этаже более 10 человек должны быть разработаны и на видных местах вывешены планы (схемы) эвакуации людей в случае пожара.

План эвакуации людей при пожаре из помещения, где расположена аудитория КЦ–105 НИ ТПУ, представлен на (рис. 18)

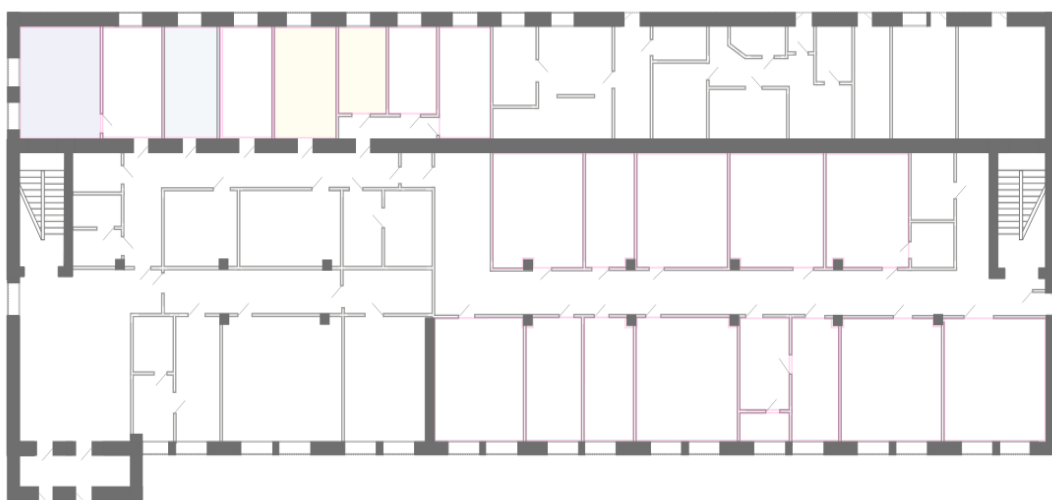


Рисунок 18. План эвакуации

Необходимыми действиями в результате возникшей ЧС и мерами по ликвидации её последствий являются [31]:

Передать сигнал «Тревога» голосом, задействовать систему оповещения людей о пожаре.

Сообщить по телефону 01, с сотового 010 адрес объекта, место возникновения пожара, свою фамилию. Сообщить по телефону 03, с сотового 030 адрес объекта, что случилось, информацию о пострадавших, свою фамилию, оказать помощь пострадавшим.

Открыть все эвакуационные выходы, направить людей к эвакуационным выходам согласно знакам направления движения.

Отключить от электропитания оборудование, механизмы и т.п., обесточить помещение.

По возможности принять меры по тушению пожара используя средства противопожарной защиты.

По возможности предотвратить развитие аварии, обозначить место аварии.

6.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.7.2. Специальные правовые нормы трудового законодательства

Как уже было неоднократно отмечено, при работе с персональным компьютером очень важную роль играет соблюдение правильного режима труда и отдыха. В противном случае у персонала отмечаются значительное напряжение зрительного аппарата с появлением жалоб на неудовлетворенность работой, головные боли, раздражительность, нарушение сна, усталость и болезненные ощущения в глазах, в пояснице, в области шеи и руках.

При восьмичасовой рабочей смене на ВДТ и ПЭВМ перерывы в работе должны составлять от 10 до 20 минут каждые два часа работы [26]. В перерывах, рекомендуется проводить комплекс упражнений для глаз [28].

6.7.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Проектирование рабочих мест, снабженных видеотерминалами, относится к числу важных проблем эргономического проектирования в области вычислительной техники.

Организация рабочего места программиста или оператора регламентируется следующими нормативными документами: ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ, ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и рядом других.

Эргономическими аспектами проектирования видеотерминальных рабочих мест, в частности, являются: высота рабочей поверхности, размеры пространства для ног, требования к расположению документов на рабочем месте (наличие и размеры подставки для документов, возможность различного размещения документов, расстояние от глаз пользователя до экрана, документа, клавиатуры и т.д.), характеристики рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость элементов рабочего места.

Главными элементами рабочего места программиста или оператора являются стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя.

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

Моторное поле - пространство рабочего места, в котором могут осуществляться двигательные действия человека.

Максимальная зона досягаемости рук - это часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми максимально вытянутыми руками при движении их в плечевом суставе.

Оптимальная зона - часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми предплечьями при движении в локтевых суставах с опорой в точке локтя и с относительно неподвижным плечом.

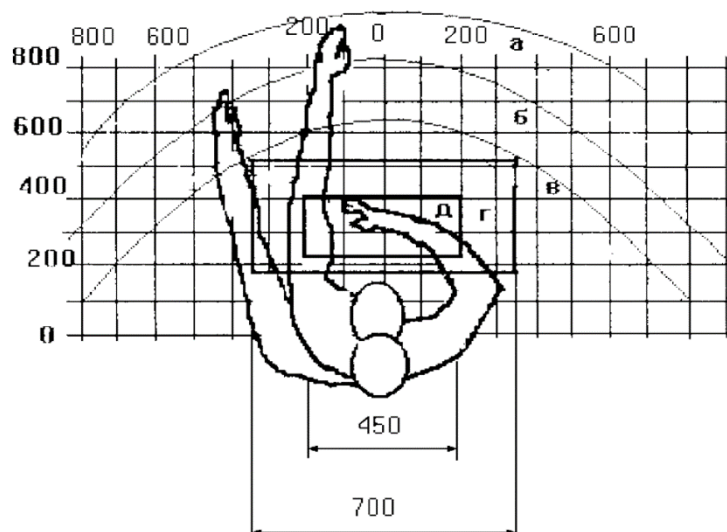


Рисунок 19 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а - зона максимальной досягаемости;

б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в - зона легкой досягаемости ладони;

г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости:

- дисплей размещается в зоне "а" (в центре);
- системный блок размещается в предусмотренной нише стола;
- клавиатура - в зоне "г"/"д";
- манипулятор "мышь" - в зоне "в" справа;
- документация: необходимая при работе - в зоне легкой досягаемости ладони — "в", а в выдвижных ящиках стола - литература, неиспользуемая постоянно.

Для комфортной работы стол должен удовлетворять следующим условиям:

- высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;
- нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы программист мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;

- поверхность стола должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения программиста;
- конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков (не менее 3 для хранения документации, листингов, канцелярских принадлежностей).
- высота рабочей поверхности рекомендуется в пределах 680-760мм. Высота поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть около 650мм.

Большое значение придается характеристикам рабочего стула (кресла).

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также регулируемым по расстоянию спинки от переднего края сиденья. Конструкция стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400 - 550 мм и углов наклона вперед до 15° и назад до 5° ;
- высоту опорной поверхности спинки 300 ± 20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах $0 \pm 30^{\circ}$;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260-400 мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной - 50-70 мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 ± 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350 - 500 мм.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой с нескользящим, неэлектризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнения.

Кресло следует устанавливать на такой высоте, чтобы не чувствовалось давления на копчик (это может быть при низком расположении кресла) или на бедра (при слишком высоком).

Работающий за ПЭВМ должен сидеть прямо, опираясь в области нижнего края лопаток на спинку кресла, не сутулясь, с небольшим наклоном головы вперед (до $5-7^\circ$). Предплечья должны опираться на поверхность стола, снимая тем самым статическое напряжение плечевого пояса и рук.

Рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20° . Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

Необходимо предусматривать при проектировании возможность различного размещения документов: сбоку от видеотерминала, между монитором и клавиатурой и т.п. Кроме того, в случаях, когда видеотерминал имеет низкое качество изображения, например, заметны мелькания, расстояние от глаз до экрана делают больше (около 700мм), чем расстояние от глаза до документа (300 - 450мм). Вообще при высоком качестве изображения на видеотерминале расстояние от глаз пользователя до экрана, документа и клавиатуры может быть равным.

Положение экрана определяется:

- расстоянием считывания (0,6...0,7м);
- углом считывания, направлением взгляда на 20° ниже горизонтали к центру экрана, причем экран перпендикулярен этому направлению.

Должна также предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;

- по наклону от -10° до $+20^{\circ}$ относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Большое значение также придается правильной рабочей позе пользователя. При неудобной рабочей позе могут появиться боли в мышцах, суставах и сухожилиях.

Требования к рабочей позе пользователя видеотерминала следующие:

- голова не должна быть наклонена более чем на 20° ;
- плечи должны быть расслаблены;
- локти - под углом $80^{\circ} \dots 100^{\circ}$;
- предплечья и кисти рук - в горизонтальном положении.

Причина неправильной позы пользователей обусловлена следующими факторами:

- нет хорошей подставки для документов;
- клавиатура находится слишком высоко, а документы – низко;
- некуда положить руки и кисти;
- недостаточно пространство для ног.

Создание благоприятных условий труда и правильное эстетическое оформление рабочих мест на производстве имеет большое значение как для облегчения труда, так и для повышения его привлекательности, положительно влияющей на производительность труда.

Заключение

В результате проделанной работы выполнен анализ свойств полученной весовой функции, были найдены все точки разрыва, показано, что все точки являются точками устранимого разрыва, весовая функция доопределена.

Разработан цифровой алгоритм веерной фильтрации. Изучены свойства весовой функции цифрового алгоритма. Разработанный алгоритм фильтрации реализован в программном пакете MATLAB.

Проведено исследование частотной характеристики полученного фильтра, которое показало, что количество каналов, а также ширина раствора фильтра влияет на область пропускания, можно сказать, что область пропускания фильтра близка к идеальной. Как видно из проведенного анализа при малом количестве каналов фильтр подавляет гармоники низких частот, но при увеличении числа каналов частотная характеристика цифрового фильтра приближается к идеальному фильтру.

В выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также идентифицированы основные опасные и вредные производственные факторы, мероприятия по их устранению, и правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Список используемых источников

1. Яппарова Е. А. Спектральные методы разделения волн на основе цифровой веерной фильтрации: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Томский политехнический университет, 2006.
2. Гольдин С.В. Линейные преобразования сейсмических сигналов. -М.: Недра, 1974. -352 с.
3. Иванченков В.П., Степанов Д.Ю. Алгоритмы выделения сейсмических волн на основе перестраиваемых и адаптивных пространственно-временных фильтров: тр. межд. геоф. сем. им. Д.Г. Успенского. – М: ОИФЗ РАН, - 2000. - С. 82-84.
4. Нахамкин С.А. О веерной фильтрации // Физика земли, -1969. -№11. – С. 24-35
5. Рябков В.В, Захаров Е.Т., Антипин Ю.Г. Возможности веерной фильтрации в сравнении с направленным суммированием // Прикладная геофизика, вып. 64. -М.: Недра, 1973. – С. 34-39.
6. Сейсморазведка. Справочник геофизика / под ред. И.И. Гурвича, В.П. Номоконова. -М.: Недра, 1981. – 464 с.
7. Д.Ю. Степанов, Е.А. Яппарова. Разрешающая способность и параметры веерной фильтрации при обработке сейсмических волновых полей – Томский политехнический университет, 2006.
8. Цифровая обработка сейсмических данных / Козлов Е.А., Гогоненков Г.Н., Лернер Б.Л. и др. -М.: Недра, 1973. – 312 с.
9. Embree P., Burg J.P., Bachus V. Wide band velocity filtering - the Pie-slice processe, Geophysics, №5, 1963.
10. Threitel S., Shanks J., Frasier C. Some aspects of Fan Filtering, Geophysics, №5, 1967.

11. Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике: справочник геофизика / под ред. В.И. Дмитриева. - 2-е изд., перераб. и доп. -М.: Недра, 1990. - 448 с.
12. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсмическая разведка: Учебник для вузов. - 3-е изд., перераб., -М.: Недра, 1980. –551 с.
13. Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации. – М.: Недра, 1986. – 342 с.
14. Кулханек О. Введение в цифровые фильтры в геофизике. -Л.: Недра, 1981. –198 с.
15. Птецов С.Н. Анализ волновых полей для прогноза геологического разреза. –М.: Недра, 1989. – 135 с.
16. Гольцман Ф.М. Статистические модели интерпретации. -М.: Наука, 1971.–328 с.
17. Шамина О.Г. Об особенностях спектров продольных и поперечных волн // Физика Земли, - 2000. - №11. - С. 35-39.
18. Нахамкин С.А. Задача о преобразовании сейсмическими интерференционными системами числовых характеристик случайных функций и некоторые ее приложения // Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн, -Л.: Изд. ЛГУ, - 1964. - вып. VII. - С. 161-193.
19. Даджион Д.Э., Мерсеро Р.М. Цифровая обработка многомерных сигналов, - М.: Радио и связь, - 1985, - 248 с.
20. Клаербоут Дж.Ф. Теоретические основы геофизической информации. С приложениями к разведке нефти. –М.: Наука, 1981. –304 с.
21. Хуанг Т. Обработка изображений и цифровая фильтрация. – М.: Мир, 1975. –318 с.
22. Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. – М.: Связь 1980. – 248 с.
23. Оппенгейм А.В., Шафер Р. В. Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ./ Под ред. С. Я. Шаца.–М.: Связь, 1979.–416 с.

24. Материалы по продуктам MATLAB & Toolboxes [Электронный ресурс]. URL: <http://matlab.exponenta.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 20.04.2014 г.
25. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату
26. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
27. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
28. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
29. ГОСТ 12.1.003–83. Шум. Общие требования безопасности труда.
30. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
31. Действия ЭМП на организм человека. Сборник лекций. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный http://studopedia.net/13_166967_deystviya-emp-na-organizm-cheloveka.html.

Листинг 1. Листинг файла – функции *Veer.m*

```
function H = Veer( xa,ta,Fn,dg,gn)
%UNTITLED Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here

if (xa==0)&&(ta==0)
    H = 2*((-1/(4*pi^2))*Fn^2*abs(dg)); % -2*Fn^2*dg;
else
    if (xa==0)
        H = 2*((-2*abs(dg)*ta*pi*Fn*sin(ta*pi*Fn)*cos(ta*pi*Fn) -
        (abs(dg)*(cos(ta*pi*Fn))^2+abs(dg))/(4*ta^2*pi^4));
    else
        if ((abs(dg)*xa-2*ta+2*gn*xa)==0)
            H = 2*((cos(4*pi*Fn*(ta-gn*xa))-1)/(4*pi^4*xa*(4*ta-
            4*gn*xa)));
        else
            if ((abs(dg)*xa+2*ta-2*gn*xa)==0)
                H = 2*(-(cos(4*pi*Fn*(ta-gn*xa))-
                1)/(4*pi^4*xa*(4*ta-4*gn*xa)));
            else
                H = 2*((1/((4*pi^4)*xa))*(((cos(pi*(abs(dg)*xa-
                2*ta+2*gn*xa)*Fn)-1)/(abs(dg)*xa-
                2*ta+2*gn*xa))+((cos(pi*(abs(dg)*xa+2*ta-2*gn*xa)*Fn)-
                1)/(abs(dg)*xa+2*ta-2*gn*xa))));
            end
        end
    end
end
end
```

Листинг 2. Листинг файла – функции *Piram.m*

```
clear all
dt = 0.002;
dx = 25;
gn = -7.68*10^(-5); %-dt/dx;
dg = 1.31*10^(-5); %2*dt/dx;
Fn = 1/(2*dt);
nt = 64;
nx = 12;
t = -nt*dt:dt:nt*dt;
x = -nx*dx:dx:nx*dx;
for i=1:1:(2*nt+1)
    for j=1:1:(2*nx+1)

M(j,i) = Veer(x(j),t(i),Fn,dg,gn);
    end
end
Y = fft2(M);
Z = abs(Y);
figure(1);
surf(M);
```

```

xlabel('t - Время, (с) ');
ylabel('x - Пространство, (м) ');
zlabel('Значение весовой функции H(x,t) ');
figure(2);
contourf(Z);
xlabel('Частота по времени(1/с) ');
ylabel('Частота по пространству(1/м) ');
dfx = 1/((nx*2)*dx);
dft = 1/((2*nt)*dt);
ft = (-nt)*dft:dft:(nt)*dft;
fx = (-nx)*dfx:dfx:(nx)*dfx;
figure(3);
contourf(ft, fx, Z);
xlabel('Частота по времени(1/с) ');
ylabel('Частота по пространству(1/м) ');
%-----
[H W]=size(Z);
w=(W-1)/2+1;
h=(H-1)/2+1;
RR1=Z(1:end,1:w);
RR2=Z(1:end,w+1:end);
L=[RR2, RR1];

RR1=L(1:h,1:end);
RR2=L(h+1:end,1:end);
L=[RR2; RR1];
%-----
figure(4);
contourf(ft, fx, L);
xlabel('Частота по времени(1/с) ');
ylabel('Частота по пространству(1/м) ');
[H W]=size(L);
w=(W-1)/2+1;
h=(H-1)/2+1;
RR1=L(1:end,w:end);
L=[RR1];
ft = 0:dft:nt*dft;
fx = -nx*dfx:dfx:nx*dfx;

%-----
figure(5);
grid on

contourf(ft, fx, L);
xlabel('Частота по времени(Гц) ');
ylabel('Частота по пространству(1/м) ');

```