



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки: 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Отделение школы (НОЦ): Экспериментальной физики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Алгоритмы определения временного положения сейсмических сигналов по оценкам их фазочастотных характеристик.

УДК 004.932.4:550.344

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0B92	Закирова Рината Назифовна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Кочегуров Александр Иванович	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Крицкий Олег Леонидович	к.ф.-м.н., доцент		



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (ООП/ОПОП): 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

Отделение школы (НОЦ): Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП/ОПОП

(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
0В92	Закирова Рината Назифовна

Тема работы:

Алгоритмы определения временного положения сейсмических сигналов по оценкам их фазочастотных характеристик
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)	Объектом исследования является геологическая среда, для изучения которой используются сейсмические волны, отраженные от раздела сред. Поэтому в качестве исходных данных в работе применяется математическая модель сейсмической трассы, представляющая собой суперпозицию полезных сигналов и аддитивного нормального шума. В качестве полезного сигнала принимается импульс с колокольной огибающей, параметры которого задаются исходя из реальных данных.
Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке (аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)	1. Анализ задач и существующих методов прослеживания сейсмических волн 2. Постановка задачи фазочастотного прослеживания 3. Метод фазочастотного прослеживания сейсмических волн 4. Разработка алгоритма определения временного положения сигналов по ФЧХ 5. Разработка алгоритма определения временного положения сигналов по функциям групповой задержки. 6. Сравнение полученных результатов в корреляционном приемнике 6. Пример обработки реальных данных
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	1. Модель одиночной сейсмической трассы 2. Структурные схемы алгоритмов 3. Результаты вычислительного эксперимента на

	построенной модели 4. Обработка реальных данных
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Кочегуров Александр Иванович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0В92	Закирова Рината Назифовна		

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

Студенту:

Группа	ФИО		
0B92	Закирова Рината Назифовна		
Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	Экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	01.03.02 Прикладная математика и информатика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

1. <i>Оценка конкурентоспособности ИР</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Диаграмма Ганта</i>
4. <i>Бюджет НИ</i>
5. <i>Основные показатели эффективности НИ</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	К.Т.Н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0B92	Закирова Рината Назифовна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
0В92		Закирова Рината Назифовна	
Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	01.03.02 Прикладная математика и информатика

Тема ВКР:

Алгоритмы определения временного положения сейсмических сигналов по оценкам их фазочастотных характеристик.

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.
- Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации

Объект исследования: алгоритмы определения временного положения сейсмических сигналов.
Область применения: сейсмология и геофизика.
Рабочая зона: офисное помещение
Размеры помещения: 27,2 м²
Количество и наименование оборудования рабочей зоны: 1 персональный компьютер.
Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: алгоритмическая разработка с использованием персонального компьютера.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

- ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя»
- СП 2.4.3648-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи"
- Трудовой кодекс Российской Федерации: федер. Закон от 30 дек. 2001 г. №197-ФЗ Раздел 10

2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:

- Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов

Опасные факторы:

- Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;

Вредные факторы:

- Отклонение показателей микроклимата;
- Недостаточная освещённость рабочей зоны;
- Пониженная световая и цветовая контрастность;
- Повышенный уровень шума на рабочем месте;
- Перенапряжение зрительного аппарата;

3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения

Анализ воздействия на литосферу:

- Утилизация компьютеров, оргтехники и бумаги;

Анализ воздействия на гидросферу:

- Производство компьютерной техники;

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения	– Затопление; – Землетрясение; – Короткое замыкание проводки; – Наиболее типичная ЧС: Пожар;
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0B92	Закирова Рината Назифовна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 108 с., 16 рис., 26 табл., 39 источников, 5 прил.

Ключевые слова: сейсмические сигналы, задачи прослеживания волн, фазочастотные характеристики и функции группового запаздывания, определение временного положения, функция правдоподобия.

Объектом исследования является геологическая среда, а предметом исследования математическая модель волнового сейсмического поля.

Цель работы – Разработка алгоритмов определения временного положения сейсмических сигналов по оценкам их фазочастотных характеристик, проведение исследования алгоритмов на моделях сейсмических записей.

Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи:

1. рассмотреть природу и характеристики сейсмических сигналов
2. провести анализ методов прослеживания сейсмических волн
3. построить математическую модель сейсмической трассы
4. разработать алгоритмы определения временного положения сейсмических сигналов по оценкам их фазочастотных характеристик
5. на построенной модели провести исследования разработанных алгоритмов
6. опробовать алгоритмы на реальных данных.

В ходе работы проводились исследования путем проведения вычислительного эксперимента на модели волнового поля.

В результате исследований получены зависимости числовых характеристик помехоустойчивости алгоритмов от отношения сигнал/шум, а также рассчитаны их доверительные интервалы.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: математические ожидания и дисперсии временного положения сигналов в зависимости от отношения сигнал/шум.

Степень внедрения: исследования на моделях, опробование применения алгоритмов на реальных данных.

Область применения: обработка и интерпретация данных сейсморазведки.

Экономическая эффективность/значимость: работы: возможность прослеживания сейсмических волн, когда форма сигнала неизвестна.

Оглавление

Введение	12
1. Задачи и методы прослеживания сейсмических волн.....	15
1.1. Сейсмические сигналы и их применение для исследования слоистых поглощающих сред	16
1.2. Анализ методов прослеживания на основе анализа кинематических и динамических параметров отраженных волн	22
2.Определение временного положения сейсмических сигналов в методе фазочастотного прослеживания	28
2.1. Оптимальное определение временного положения сигналов по их фазочастотным характеристикам (ФЧХ).....	28
2.2. Оценки временного положения сигналов по ФЧХ с равновесной и неравновесной обработкой.....	32
2.3. Оценки временного положения по функциям групповой задержки (ФГЗ) с равновесной и неравновесной обработкой.....	34
3. Разработка и исследования помехоустойчивости фазочастотных алгоритмов на моделях сейсмических записей	42
3.1. Построение математической модели сейсмической трассы	42
3.2. Описание и исследование алгоритма оценки временного положения сигналов по ФЧХ.....	47
3.3. Описание и исследование алгоритма оценки временного положения сигналов по ФГЗ.....	51
3.4. Сравнение полученных результатов с результатами прослеживания корреляционным приемником	54
4. Примеры прослеживания сейсмических волн на реальных данных.....	57
4.1. Исходное волновое поле.....	57
4.2. Результаты применения разработанных алгоритмов	57
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ..	58
Введение	58

5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	58
5.1.1 Анализ конкурентных технических решений	59
5.1.2 SWOT-анализ.....	61
5.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	63
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	64
5.3 Бюджет научно-технического исследования	67
5.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	67
5.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	68
5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	69
5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	71
5.3.5 Накладные расходы.....	71
5.3.6 Бюджет НИР	72
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	73
6. Социальная	77
Введение	77
6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
6.2. Производственная безопасность	79
6.2.1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	80
6.2.2. Отклонение показателей микроклимата.....	81
6.2.3. Недостаточная освещённость рабочей зоны	82
6.2.4. Повышенная световая и цветовая контрастность.....	83
6.2.5. Повышенный уровень шума на рабочем месте	84
6.2.6. Перегрузка зрительного аппарата	85
6.3. Экологическая безопасность.....	86

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	87
Пожар.....	87
Вывод раздела.....	88
Заключение	90
Литература	91
Приложение 1	96
Приложение 2	98
Приложение 3	101
Приложение 4	102
Приложение 5	105

Введение

Применение геофизических методов разведки является неотъемлемой частью процесса поиска нефтяных и газовых месторождений. Разведочная геофизика, в целом, включает в себя несколько научных областей, которые изучают строение земных массивов под поверхностью земли, с целью обнаружения и оценки запасов полезных ископаемых. В данной деятельности осуществляется измерение как естественных, так и искусственно создаваемых полей, чтобы получить необходимую информацию.

Геофизическая разведка, основанная на методе сейсмической разведки, является важным инструментом для изучения геологической структуры земной коры. В этом методе используются различные подходы для анализа распространения искусственно созданных упругих волн. Путем генерации волн с помощью взрывов или ударов и наблюдения их распространения в разных направлениях от источника мы получаем информацию о внутренних слоях коры. Волны преломляются, отражаются и частично возвращаются на поверхность, где их колебания регистрируются с помощью специализированных устройств.

Анализ времени распространения волн и характера колебаний почвы позволяет определить такие параметры, как глубина, форма и угол наклона геологических границ, где происходят преломление или отражение волн. Эти данные помогают нам получить представление о структуре земной коры и провести более детальное исследование геологических образований.

Использование сейсмической разведки требует специального оборудования и экспертизы для обработки и интерпретации полученных данных. Этот метод является важным инструментом в геофизическом исследовании, который позволяет нам получить ценную информацию о составе и структуре земной коры. [1].

Поэтому сейсмические методы широко применяются для решения структурно-геологических задач, включая построение границ разделения геологических сред.

Для достижения целей оценки временного положения сейсмических волн был разработан комплекс программ и алгоритмов, включающий процедуры трассировки сейсмических волн. Одной из важных задач трассировки является точное определение временного положения сейсмических сигналов, отраженных от границ раздела геологических сред.

Для оценки временного положения сейсмических волн сегодня существует множество алгоритмов, основанных на вычислении взаимных корреляционных функций между регистрируемыми волнами и эталонным сигналом [2]. Однако создание эталонного сигнала представляет определенные сложности, так как волны возбуждаются взрывом и исходная форма сигнала неизвестна. В практике применяются адаптивные корреляционные алгоритмы, где эталонный сигнал синтезируется на основе оценки регистрируемых волн, чаще всего путем суммирования синфазных участков сейсмических трасс. Однако такой подход может снижать точность оценок временного положения, особенно при наличии высокого уровня нерегулярных помех, дисперсии среды распространения волн или в случае тонкослоистых геологических сред, что затрудняет получение достоверных оценок времени прихода волн.

Следовательно, важной и актуальной задачей является усовершенствование существующих методов прослеживания сейсмических волн. В этом контексте большой интерес представляют методы прослеживания, которые активно используют информативные признаки, извлеченные из динамических параметров отраженных волн, особенно из фазочастотных характеристик (ФЧХ), для решения задач определения временного положения сигналов.

Фазочастотные характеристики (ФЧХ) являются ценным источником информации о различных аспектах слоистых сред, включая местоположение отражающих границ, тип скоростного разреза и дисперсионные свойства. Анализ ФЧХ позволяет разработать алгоритмы обработки сейсмических волн, которые основаны на частотно-фазовой информации.

Эти алгоритмы обладают способностью обнаруживать и различать сигналы на фоне сильных помех, а также предоставлять достоверные оценки параметров сигналов. Они позволяют работать с данными, даже при наличии некоторой степени неопределенности относительно формы исследуемых волн.

Применение алгоритмов на основе анализа ФЧХ является эффективным способом улучшения обработки и интерпретации сейсмических данных. Они помогают распознавать сигналы и извлекать полезную информацию даже в сложных условиях сильных помех. Такие алгоритмы являются важным инструментом в геофизическом исследовании, обеспечивая более точные и достоверные оценки параметров сигналов и распознавание геологических структур [3].

1. Задачи и методы прослеживания сейсмических волн

В рамках структурной сейсморазведки одной из основных задач является прослеживание сейсмических волн и границ. В этом контексте требуется обнаружить волны, определить их тип и оценить соответствующие параметры. Основными неизвестными параметрами, которые нужно определить при прослеживании волн, являются моменты их появления в конкретной точке. Это означает определение точного времени, когда сейсмическая волна достигает определенной точки наблюдения. В конкретных задачах эти параметры могут быть заменены другими параметрами, которые имеют другой физический смысл. Например, это могут быть параметры осей синфазности, параметры временного и глубинного разрезов, статические и кинематические поправки и другие. При этом предполагается, что функциональная связь между этими параметрами и моментом прихода волн считается известной.

В зависимости от физического смысла искомых параметров, прослеживание сейсмических волн может быть выполнено как по входным исходным данным (анализ характеристик участка записи, корреляции волн на сейсмограммах), так и по выходным данным (изучение закономерностей в поведении кинематических и динамических характеристик разреза, прослеживание границ и т.д.).

Одним из подходов к прослеживанию выходных данных является определение участков, на которых исследуется поведение сейсмических волн или границ. Это имеет большое значение при создании структурных карт, которые предоставляют геологическую информацию для использования в различных задачах. Например, они играют важную роль в прогнозировании геологического разреза, включая предсказание наличия нефти и газа. В таких задачах требуется детальное исследование геометрических параметров и форм местных геологических объектов, а также оценка кинематических и динамических характеристик, таких как амплитудные, фазовые и энергетические спектры.

1.1. Сейсмические сигналы и их применение для исследования слоистых поглощающих сред

Сейсмическая разведка (сейсморазведка), как было упомянуто ранее, является одним из ключевых методов геофизической разведки. Она основана на изучении распространения искусственно созданных упругих волн в земной коре [1,2].

В процессе сейсмической разведки, упругие волны, возникающие в результате искусственного возбуждения, при помощи взрыва или удара, распространяются от источника возбуждения и проникают в глубину коры. В процессе движения волны преломляются, отражаются и частично возвращаются к поверхности. Регистрация колебаний, вызванных такими волнами, осуществляется с помощью специальных приборов (см. рис. 1.1). Анализируя время распространения волн и характер колебаний, можно определить глубину и форму геологических границ, где происходят преломление и отражение волн, а также сделать выводы о составе пород, через которые прошла волна. [1,2].

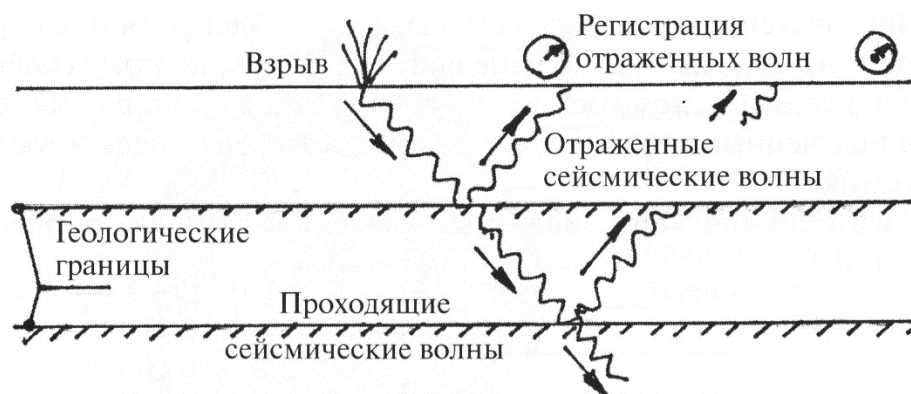


Рис.1.1. Распространение сейсмической волны в двухслойной геологической среде.

Метод отраженных волн (МОВ) является одним из основных используемых методов в сейсмической разведке. Данный метод, построенный на изучении упругих волн, отраженных от границы между геологическими слоями, при использовании для полевой сейсмической

записи проходят процесс обработки и интерпретации, в результате чего извлекается данные, полезные для дальнейшей работы.

Главная задача обработки и интерпретации данных в сейсмологии заключается в решении обратных кинематических и динамических задач.

Ее главной целью является определение структуры сейсмологической среды и упругих свойств слоев с границами любой формы на основе наблюдений искусственно возбужденных упругих волн, зарегистрированных на поверхности.

1. На практике решение задач обработки и интерпретации сейсмических данных ограничено рядом факторов, которые следует учитывать:

2. Ограниченность пространства: Измерения сейсмического поля производятся в конечной области, что может привести к потере информации о дальних объектах или деталях структуры.

3. Дискретность системы наблюдения: Используемые приборы и сенсоры имеют ограниченное разрешение, что ограничивает возможность точного восстановления полей и границ.

4. Неполная математическая модель: Существует препятствие в создании полноценной (полной) математической модели, которая будет учитывать все особенности распространения сейсмических волн в геологических средах. Моделирование таких сложных процессов требует учета множества факторов, что представляет вызов.

5. Волновая природа сейсмического поля: Волны могут быть подвержены дифракции, интерференции и другим явлениям, что создает ограничения для детального исследования геологической среды.

6. Помехи: Различные помехи, такие как шумы, неоднородности в среде, влияние других источников, могут снизить количество доступных данных и их качество, затрудняя точное извлечение информации.

Несмотря на эти ограничения, существуют широкие возможности для разработки эффективных алгоритмов обработки и интерпретации

сейсмических данных. Применение современных методов обработки сигналов, моделирования и статистического анализа может позволить достичь достаточной точности при оценке реальных структур на основе сейсмических наблюдений. Кроме того, развитие новых технологий и инноваций в области сейсмической разведки продолжает расширять границы возможностей и улучшать точность и достоверность результатов.

В процессе сейсморазведки и решении обратных задач с использованием метода отраженных волн (МОВ), применяется множество этапов. На начальном этапе сейсмической разведки учитываются входные данные, которые, содержат в себе априорную информацию о геологической среде, создаваемые сейсмические сигналы и экспериментальные материалы, получаемый при измерении на поверхности.

Исходя из определённой цели и задачи, составляются модели среды и сейсмограммы, основанные на априорных данных. Необходимо отметить, что существует взаимная связь между этими моделями, поскольку они отражают взаимодействие геологических объектов и формирование сейсмического поля.

Затем экспериментальный материал проходит процесс обработки, который позволяет извлечь полезную информацию. Существует различный характер полезной информации, который зависит от конкретной задачи [1]. Так, например, можно предоставлять качественные характеристики состояний исследуемого объекта - обнаружение сигнала на фоне помех, или количественные оценки параметров сигнала - определение временного положения сейсмического сигнала.

Обработка сейсмических данных позволяет извлечь информацию о структуре и свойствах исследуемой среды. Это важный этап в процессе геофизической разведки, который помогает уточнить характеристики геологических объектов и принять обоснованные решения на основе полученных результатов.

В процессе обработки данных применяются различные методы и алгоритмы, включая фильтрацию, деконволюцию, корреляцию, миграцию и другие, с целью улучшения качества и интерпретируемости информации. Отбираются и анализируются ключевые особенности сейсмических сигналов, позволяющие сделать выводы о геологической структуре и свойствах исследуемой области.

После этапа обработки следует интерпретация полученных результатов, которая заключается в объяснении физико-геологического содержания обработанных данных. В процессе интерпретации сейсмических данных в сейсморазведке, часто возникает необходимость уточнения моделей и разрешения неоднозначностей в полученных результатах обработки. В сейсмической разведке ограниченность доступной априорной информации и вычислительная сложность являются причинами, которые усложняют решение обратных задач.

Априорная информация о геологической среде обычно ограничена и не всегда полностью точна. Это может быть вызвано недостаточным количеством данных, ограничениями измерительных приборов или неполной информацией о составе и структуре исследуемой области. Наличие ограниченной априорной информации может затруднить точное моделирование и интерпретацию данных.

Кроме того, решение обратных задач в сейсморазведке требует вычислительных ресурсов и времени. Вычисления могут быть сложными и требовательными, особенно при работе с большими объемами данных и при использовании сложных математических моделей. Это может привести к необходимости многократного применения методов обработки и интерпретации на различных этапах для достижения более точных результатов. В связи с этим, в сейсмической разведке широко используются комбинированные подходы, где различные методы взаимосвязаны и взаимодополняют друг друга. Например, результаты одной обработки могут

использоваться в качестве входных данных для других методов, что позволяет уточнять модели и улучшать точность результатов.

Таким образом, в сейсмической разведке решение обратных задач требует учета ограниченности априорной информации и сложности вычислений. Путем многократного применения методов обработки и интерпретации на различных этапах можно достичь более точных результатов и получить более полное представление о геологической структуре и свойствах исследуемой области.

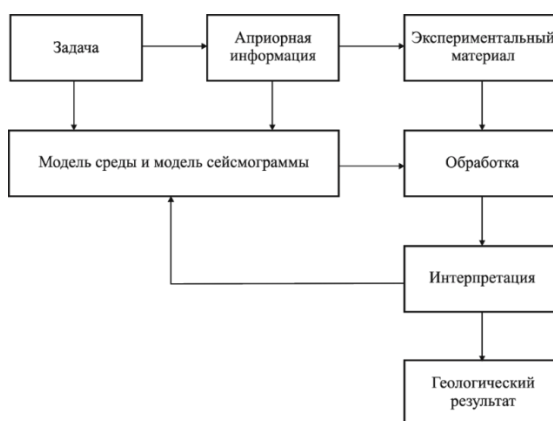


Рис.1.2. Общая схема решения обратных задач в сейсморазведке

Разработка эффективных алгоритмов обработки и интерпретации экспериментальных данных становится важным аспектом в сейсморазведке, учитывая указанные особенности. При этом алгоритмы должны быть оптимальными или субоптимальными с учетом статистической и вычислительной эффективности, особенно в условиях ограниченности априорной информации. Кроме того, важно, чтобы экспериментальный материал достоверно соответствовал модели, для которой разрабатывается алгоритм.

В случае применения метода отраженных волн (МОВ) в сейсморазведке, экспериментальный материал представлен сейсмическими сигналами, отраженными от границ различных геологических слоев, которые регистрируются на профиле наблюдения. Для эффективной обработки и интерпретации таких данных важно иметь априорную информацию о характеристиках этих сигналов, что позволит классифицировать их на основе

общепринятых признаков, используемых, например, в радиолокации и связи. Такие признаки включают базу сигнала, отношение ширины полосы частот к основной частоте и другие [4,5].

Необходимо отметить, что форма сейсмического сигнала, полученного с использованием метода отраженных волн (МОВ), подвержена влиянию различных факторов. Свойства источника, воздействие среды, явления на границах и особенности регистрации сейсмических волн - все они оказывают свое воздействие на форму сигнала [2]. Из-за сложности геологической среды, изменчивости свойств источников и условий регистрации, точная форма сейсмического сигнала может быть определена только через проведение экспериментов [1,2,3]. Экспериментальные исследования позволяют получить реальные данные и более точно понять, как различные факторы влияют на формирование сейсмического сигнала.

Длительность сейсмических сигналов обычно находится в диапазоне от 0,06 до 0,09 секунд, что соответствует примерно 2-3 преобладающим периодам волны. Частотный диапазон сейсмических сигналов в методе отраженных волн (МОВ) обычно составляет от 15 до 120 Гц [1].

Подобно другим сигналам ограниченной длительности, спектр сейсмического сигнала охватывает бесконечный диапазон частот. Однако основная энергия сигнала сосредоточена в узкой полосе частот от 15 до 120 Гц. Этот диапазон частот можно рассматривать как основную ширину спектра сейсмического сигнала. Это означает, что в этой частотной полосе содержится наиболее значимая информация, которую необходимо учитывать при анализе и обработке сейсмических данных.

Такая особенность внутренней структуры сейсмических сигналов обладает способностью передавать значительный объем информации о среде, в которой происходит их распространение. Учитывая сосредоточение основной энергии сейсмического сигнала в узкой полосе частот, возможна разработка эффективных алгоритмов обработки и интерпретации данных на основе измерения кинематических и динамических параметров этих

сигналов. Эти алгоритмы находят применение в решении различных структурных задач, таких как определение геологических структур и прогнозирование коллекторных свойств геологических сред.

1.2. Анализ методов прослеживания на основе анализа кинематических и динамических параметров отраженных волн

В задачах прослеживания в сейсморазведке осуществляется обнаружение, идентификация и оценка параметров фиксированных волн. Основные параметры, которые оцениваются, включают амплитуды и временные моменты прихода волн. В решении конкретных задач возможно заменить значения временных моментов прихода волн на параметры с другим физическим смыслом, что может привести к получению эквивалентных результатов [6]. Эти параметры могут включать оси синфазности, временные или глубинные разрезы, статические поправки и другие, которые имеют известную функциональную связь с моментами прихода волн.

В зависимости от физического смысла искомых параметров, прослеживание можно осуществлять как по входным данным, так и по выходным. В первом случае происходит определение общих характеристик участка записи путем корреляции волн на сейсмограммах. Во втором случае исследуются закономерности в поведении кинематических и динамических характеристик разреза и производится идентификация границ раздела. Прослеживание входных данных является неотъемлемой частью процесса, так как оно базируется на статистическом эффекте накопления полезной информации. Однако прослеживание выходных данных может быть необязательным. При выполнении прослеживания выходных данных всегда определяется участок, в пределах которого принимается решение относительно поведения искомого объекта (волн или границ) [6].

Действительно, в сложных ситуациях прослеживание осей синфазности на сейсмограммах может выполняться визуально (вручную) или с применением комплексного автоматизированного подхода, который

включает ручную и автоматическую обработку. Визуальное прослеживание имеет преимущества в универсальности и гибкости благодаря опыту интерпретатора, его способности анализировать различные ситуации в волновой карте. Однако недостатком этого метода является его трудоемкость и зависимость от профессионализма и интуиции интерпретатора. Автоматическое прослеживание осей синфазности применяется практически при обработке всех сейсмических данных и обычно основано на алгоритмах, использующих статистические процедуры принятия решений. Этот подход постоянно развивается и адаптируется к современным технологическим, аппаратным и программным решениям в практике сейсморазведки. Он позволяет увеличить эффективность обработки данных и уменьшить зависимость от человеческого фактора.

Теория оптимального приема и интерпретации регулярных сейсмических волн широко применяется и обсуждается в множестве исследований. Применение статистической теории для решения задач прослеживания и разработки соответствующих алгоритмов сталкивается с определенными трудностями. Эти трудности обусловлены особенностями задач прослеживания и ограниченным количеством априорной информации, которая доступна для анализируемых волн.

Прослеживание волн является "неклассической" задачей, которая объединяет статистическую теорию приема сейсмических сигналов и теорию интерпретации. Теория интерпретации использует модели и методы, разработанные в теории приема, а также определяет задачи обнаружения и измерения параметров сигналов в процессе обработки. Это приводит к необходимости комплексного решения всех задач прослеживания, используя всю доступную информацию о сейсмических сигналах. Разделение задач прослеживания на отдельные этапы, например, обнаружение на основе амплитудных признаков и идентификация по временам вступления, не является оптимальным подходом, так как обнаружение широкого класса волн менее надежно, чем обнаружение волн с определенными параметрами.

Поэтому целесообразно использовать формализованные алгоритмы, которые обнаруживают фиксированные волны и измеряют их моменты прихода. Такие алгоритмы, известные как алгоритмы идентифицированного приема, рассмотрены, например, в работах [2,3].

Априорная неопределенность о свойствах сейсмических сигналов в сейсморазведке обусловлена несколькими факторами [2]. Во-первых, при использовании взрывных методов возбуждения упругих волн форма сигналов, зарегистрированных на профиле наблюдения, обычно неизвестна. Во-вторых, отраженные волны часто регистрируются на небольших удалениях от источника, что может создавать сложности из-за наличия как нерегулярных, так и регулярных волн, имеющих схожую природу с полезными волнами. В основном это многократно отраженные волны. В-третьих, записи многоканальных обработанных сейсмограмм (МОВ) часто подвергаются автоматической регулировке усиления (АРУ), что искажает амплитудные соотношения колебаний.

В связи с вышеуказанными факторами основными критериями для прослеживания сейсмических волн являются следующие [1,3]:

1. Сохранение формы записи волны на всем интервале прослеживания, где форма записи волны определяется преобладающим периодом, длительностью колебаний и соотношением амплитуд различных экстремумов волны.

2. Изменение интенсивности, где амплитуда обычно уменьшается по мере удаления от пункта приема.

3. Синфазность колебаний.

При прослеживании волн на многоканальных обработанных сейсмограммах (МОВ), в связи с ранее упомянутыми факторами, основным критерием является синфазность [2]. Для его достижения выполняется последовательное прослеживание экстремумов на сейсмограммах, что можно интерпретировать как фазовую корреляцию между волнами. Важно отметить, что параметры сигналов меняются вдоль профиля наблюдения, поэтому

алгоритмы прослеживания должны быть адаптивными к изменяющимся условиям.

Для построения эффективных алгоритмов прослеживания волн широко применяется адаптивный байесовский подход, который учитывает параметрическую априорную неопределенность [7,8]. Этот подход позволяет алгоритму адаптироваться к различным условиям и обеспечивает более точное прослеживание сейсмических волн.

Процедура адаптивного байесовского решения включает замену точных значений параметров на их оценки, полученные из экспериментальных данных, в рамках обычного байесовского критерия [7]. То же самое относится и к методу максимального правдоподобия, который является частным случаем критерия Байеса. Алгоритмы, основанные на адаптивном байесовском подходе, обладают инвариантными свойствами при изменении моделей сигналов и помех, и их структуры приближаются к оптимальным [7,8].

В практике обработки и интерпретации сейсмической информации, особенно широкое применение получил подход, использующий корреляционный приемник [9]. Этот метод позволяет эффективно обнаруживать и измерять сейсмические сигналы, и его использование широко распространено в сейсморазведке.

Когда точно известен сигнал, применение адаптивного байесовского метода позволяет оптимально обработать всю доступную информацию о сигнале на заданном интервале наблюдения, что делает этот метод идеальным для данной ситуации помеховой обстановки. Качество получаемых оценок зависит от соотношения энергии сигнала и спектральной плотности помехи.

Однако в реальных условиях сейсморазведки точное знание всех параметров регистрируемого сигнала на профиле наблюдения практически невозможно, что затрудняет достижение максимально возможной точности оценок временного положения сейсмических сигналов.

Таким образом, для решения задач прослеживания в условиях неопределенности параметров сейсмических сигналов можно использовать два подхода.

Первый подход основан на применении корреляционного приемника, где вместо неизвестных параметров сигнала подставляются их оценки, используя адаптивный байесовский подход [9]. Этот подход позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям и обеспечивает оптимальную обработку доступной информации о сигнале.

Второй подход основан на анализе динамических параметров сейсмических волн. В настоящее время широко используются методы деконволюции с целью получения высокоразрешающих геологических разрезов [10-14]. Эти методы позволяют анализировать динамические характеристики сигналов и извлекать информацию о геологической структуре.

В общем случае деконволюция представляет собой процесс, который улучшает временную разрешающую способность сейсмических данных, сжимая основной сейсмический импульс, и, является одной из важнейших процедур обработки данных сейсморазведки. Качество выполнения этой процедуры непосредственно влияет как на надежность выделения и корреляцию отраженных волн, так и на достоверность последующих глубинных построений, в том числе прогноз геологического разреза. С математической точки зрения деконволюция является операцией, основанной на обратной свертке сигналов, при этом для синтеза передаточной функции обратного фильтра необходимо иметь полную информацию о комплексном спектре сигнала [15]. Однако, в большинстве известных алгоритмов деконволюции (импульсная, предсказывающая, поверхностно-согласованная, слепая), реализованных в современных комплексах по обработке и интерпретации сейсмических данных мировых лидеров (например, ЦГЭ в России, Schlumberger в США и др.) используют только информацию об энергетических спектрах сигналов, а фазочастотные характеристики

отраженных волн считают либо минимально фазовыми, либо нуль-фазовыми [16-20]. Есть только несколько работ, в которых авторы предлагают в алгоритмах деконволюции использовать фазовые соотношения, однако только как числовые, константы, значения которых были получены ранее в результате многочисленных экспериментов и не привязаны к конкретным обрабатываемым данным [21].

Поэтому применение методов деконволюции в ряде практически важных случаев не позволяет получать надежные оценки временного положения отражающих границ, тем более что геологическая среда обладает дисперсионностью, а, следовательно, форма сигнала в точках приема изменяется. В таких условиях основным информативным параметром временного положения отражающих границ становится фаза сигнала, а именно выделенная область стационарной фазы, которая и обеспечивает формирование сигнала на сейсмической записи.

Исходя из выше изложенного, была поставлена задача разработки и исследования алгоритмов определения временного положения сейсмических сигналов на основе метода фазочастотного прослеживания.

2. Определение временного положения сейсмических сигналов в методе фазочастотного прослеживания

Традиционный подход к определению временного положения сигнала фокусируется преимущественно на оценке одного из неэнергетических параметров случайного процесса, не уделяя достаточного внимания временному параметру. Однако, если мы рассмотрим временное положение сигнала в экспоненциальном базисе, то оно полностью определяется функцией частотно-фазовой характеристики (ФЧХ) сигнала. Это означает, что оптимальная обработка ФЧХ сигнала является наиболее эффективным методом для определения его временного положения. [22].

2.1. Оптимальное определение временного положения сигналов по их фазочастотным характеристикам (ФЧХ)

Основными задачами прослеживания сейсмических волн, как показано в разделе 1 настоящей работы, являются: обнаружение фиксированных волн и определение их временного положения. Рассмотрим задачу оптимального определения временного положения сигнала по его ФЧХ, считая, что сигнал уже обнаружен. Для этого примем, что математическая модель участка сейсмотрассы может быть представлена в виде:

$$x(t) = S(t - \tau) + N(t) \quad (2.1.1)$$

где $S(t - \tau)$ - регистрируемый сейсмический сигнал;

τ - временное положение сигнала;

$N(t)$ - аддитивный нерегулярный шум, распределенный по закону Гаусса с числовыми характеристиками m_x, σ_x^2 .

Теперь необходимо построить алгоритм определения временного положения сигналов, когда оптимальной обработке подвергается лишь ФЧХ смеси сигнала и шума.

Оптимальную оценку временного положения сигнала $\hat{\tau}_{\text{опт}}$ в смысле минимизации среднеквадратической ошибки [22], можно найти, решив уравнение правдоподобия:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} [\ln L[\varphi_x \setminus \tau]] \Big|_{\tau=\tau_{\text{опт}}} = 0 \quad (2.1.2)$$

В качестве функции правдоподобия в (2.1.2) примем статистику отношения правдоподобия:

$$L[\varphi_x \setminus \tau] = \frac{L_{\varphi_x}(\tau)}{L_{\varphi_x}(\tau_0)} \quad (2.1.3)$$

где

τ_0 - фиксированное значение τ ;

$L_{\varphi_x}(\tau) = W(\varphi_x \setminus \tau)$ - условная апостериорная многомерная функция распределения ФЧХ смеси, имеющая нормальный закон распределения;

φ_x - вектор с компонентами $\varphi_x(\omega_k)$, определяющий ФЧХ смеси сигнала с шумом.

Будем считать, что сигнал сильный, т.е. $\delta(\omega) \gg 1$ для всех $\omega \in \Omega$.

Пусть выборка ФЧХ смеси сигнала с помехой является коррелированной.

С учетом этого, мы можем представить апостериорные вероятности ФЧХ смеси в матричном виде.

$$\int_{\Omega} V(\omega) \cdot [\varphi_x(\omega) - \varphi_s(\omega) - \omega \cdot \tau] d\omega = 0 \quad (2.1.4)$$

Решая уравнение (2.1.4) относительно τ , запишем:

$$\hat{\tau}_{\text{опт}} = \frac{\int_{\Omega} V(\omega) \cdot [\varphi_x(\omega) - \varphi_s(\omega)] d\omega}{\int_{\Omega} V(\omega) \cdot \omega \cdot d\omega} \quad (2.1.5)$$

Выражение (2.1.5) определяет оптимальную процедуру оценки временного положения сильного сигнала по коррелированной выборке ФЧХ смеси сигнала с аддитивной гауссовой помехой.

Дисперсию оценки временного положения $\hat{t}_{i\bar{i}\delta}$ при коррелированных отсчётах ФЧХ из (2.1.5) находится как:

$$D[\tau_{\text{опт}}] = \frac{1}{\iint_{\Omega} R_{\varphi_x}^{-1}(\omega, \omega') \cdot \omega \cdot \omega' \cdot d\omega' d\omega} \quad (2.1.6)$$

Рассмотрим частный случай, когда отсчеты в выборке ФЧХ смеси сигнала с помехой статистически независимы. В этом случае корреляционная матрица имеет диагональный вид.

Тогда выражение (2.1.5) принимает вид:

$$\hat{t}_{\text{опт}} = \frac{\int_{\Omega} \delta^2(\omega) \cdot \omega \cdot [\varphi_x(\omega) - \varphi_s(\omega)] d\omega}{\int_{\Omega} \delta^2(\omega) \cdot c \cdot d\omega} \quad (2.1.7)$$

Дисперсию оценки из (2.1.7.) нетрудно получить, если вспомнить [5], что $D[\varphi_x(\omega)] = [\delta^2(\omega)]^{-1}$.

Тогда

$$D[\hat{t}_{\text{опт}}] = \left[\int_{\Omega} \delta^2(\omega) \cdot \omega^2 \cdot d\omega \right]^{-1} \quad (2.1.8)$$

Выводы, представленные в выражениях (2.1.7) из (2.1.8), описывают известные соотношения [5], которые основаны на предположении о независимости элементов выборки ФЧХ смеси.

Сравнивая выражения (2.1.5) и (2.1.7), мы видим, что наличие корреляции между значениями ФЧХ смеси не изменяет основную структуру алгоритма. Однако, оно влияет на весовые коэффициенты, которые определяют вклад каждого элемента выборки в оценку временного положения. Изменение весовых коэффициентов может значительно влиять на точность получаемых оценок временного положения.

Теперь будем считать, что сигнал слабый, т.е. $\delta(\omega_k) \ll 1$ для всех ω_k .

В этом случае функция распределения смеси сигнала с шумом имеет закон распределения, отличный от нормального. Решение уравнения правдоподобия (2.1.2) в данном случае даёт возможность принять за оценку временного положения $\hat{t}_{\text{опт}} = \tau$, при которой достигается максимум функции (2.1.9).

$$\ln L(\tau) \cong \sum_{K=1}^m (\delta^2(\omega_K) \cdot \cos(\Delta\varphi(\omega_K) - \omega_K \tau)) \quad (2.1.9)$$

Выражение (2.1.9) может быть непосредственно использовано для построения оптимального фазочастотного алгоритма прослеживания волн [23].

Практически реализация данного алгоритма осуществляется как процедура поиска положения максимума $L(\tau)$ при перемещении вдоль сейсмической трассы некоторого окна анализа заданной протяженности. При этом дисперсия оценки составляет [23]:

$$D[\hat{t}_{\text{опт}}] = \frac{4}{\pi} \left[\int_{\Omega} \delta^2(\omega) \cdot \omega^2 \cdot d\omega \right]^{-1} \quad (2.1.10)$$

Или переходя к общепринятым обозначениям:

$$\sigma_{\hat{t}_{\text{опт}}}^2 = \frac{4}{\pi(q_{\Sigma}^*)^2 \cdot (\sigma\omega)^2} \quad (2.1.11)$$

где $(\sigma\omega)^2$ - среднеквадратическая ширина спектра сигнала;

$(q_{\Sigma}^*)^2$ - суммарное отношение сигнал/помеха.

Нетрудно показать, что оптимальная оценка из (2.1.9) для случая слабого сигнала является оптимальной и для случая сильного сигнала, но не наоборот. При этом, учитывая, что для случая сильного сигнала наличие корреляции значений ФЧХ смеси приводит лишь к изменению весовых коэффициентов в алгоритме обработки, можно считать, что и для случая слабого сигнала эта тенденция сохранится.

Поэтому в дальнейших исследованиях в качестве оптимальной процедуры определения временного положения сейсмических сигналов будем использовать максимизацию выражения $\ln L(\tau)$ из (2.1.9).

2.2. Оценки временного положения сигналов по ФЧХ с равновесной и неравновесной обработкой

Практическое применение оптимального фазочастотного метода, описанного в уравнении (2.1.9), сталкивается с существенными проблемами при оценке распределения отношений сигнал/помеха в исследуемом диапазоне частот. В связи с этим, представляется актуальным использование не только оптимальных, но и субоптимальных фазочастотных алгоритмов, которые получаются путем изменения весовых коэффициентов оптимальных алгоритмов.

Такой подход позволяет преодолеть сложности, связанные с оценкой распределения отношений сигнал/помеха, и предлагает альтернативные методы, основанные на модификации весовых коэффициентов. Эти субоптимальные фазочастотные алгоритмы сохраняют некоторые преимущества оптимальных методов, но обладают большей гибкостью и адаптируются к специфическим условиям исследования.

Известно, что форма регистрируемых сигналов, как правило, неизвестна, а, следовательно, неизвестны и $\delta(\omega_k), k = \overline{1, m}$. В связи с этим построим алгоритмы *с равновесной обработкой*. Эти алгоритмы получены из оптимального алгоритма (2.1.9.) путем замены весовой функции $\delta(\omega_k)$.

Примем $\delta(\omega_k) = 1 \forall k = \overline{1, m}$. Тогда выражение (2.1.9) можно переписать:

$$L(\tau) = \sum_{k=1}^m \cos[(\Delta\varphi(\omega_k) - \omega_k\tau)] \quad (2.2.1)$$

Для случая сильного сигнала оценка временного положения сигнала переписывается в виде:

$$\hat{\tau}^* = \frac{\int_{\Omega} \omega * [\varphi_x(\omega) - \varphi_s(\omega)] d\omega}{\int_{\Omega} \omega^2 d\omega} \quad (2.2.2)$$

Дисперсия оценки временного положения примет вид:

$$D[\hat{\tau}^*] = \frac{\int_{\Omega} \omega^2 \frac{1}{\delta^2(\omega)} d\omega}{[\int_{\Omega} \omega^2 d\omega]^2} \quad (2.2.3)$$

Для случая слабого сигнала непосредственное получение оценки дисперсии временного положения с использованием равновесной обработки не представляется. Однако, проведем следующие рассуждения, используя результаты из [22]. В этой работе показано, что точность оценок, полученных путем максимизации функции (2.1.9), может быть оценена. Для этого используется параметр η , который характеризует максимальные потери в суммарном отношении сигнал/помеха при равновесной обработке, примем η , равным:

$$\eta_{max} = (q_{\Sigma}/q'_{\Sigma})^2 - 1 = \sum_{K=1}^m (\sqrt{K} - \sqrt{K-1})^2 - 1 \quad (2.2.4)$$

Тогда, с учетом (2.2.4) нетрудно получить дисперсию оценки для слабого сигнала при неравновесной обработке:

$$\sigma_{\hat{\tau}}^2 = \frac{4 \cdot \sum_{k=1}^m (\sqrt{k} - \sqrt{k-1})^2}{\pi \cdot q_{\Sigma}^2 \cdot (\sigma\omega)^2} \quad (2.2.5)$$

В случае неравновесной обработки выражение (2.1.9.) для слабого сигнала переписывается в виде:

$$L(\tau) = \sum_{k=1}^N W(\omega_k) \cos[\Delta\varphi(\omega_k) - \omega_k \tau] \quad (2.2.6)$$

где $W(\omega_k)$ - искусственно задаваемые весовые коэффициенты, отличные от $\delta(\omega_k)$.

В неравновесной обработке сейсмической записи, весовая функция играет важную роль в управлении вкладом каждого отдельного элемента записи в формирование окончательного обработанного сигнала. Использование функции с зависимостью от частоты позволяет учесть

особенности спектрального содержания сигнала и шума на различных частотах.

Функция треугольника с смещенным максимумом представляет собой весовую функцию, которая имеет плавный переход от нуля к максимуму и затем обратно к нулю. Это позволяет уменьшить вклад боковых лепестков, улучшая разрешающую способность записи.

Выбор оптимальной весовой функции зависит от специфики сейсмической задачи и свойств сигнала и шума. Функция треугольника с смещенным максимумом является одним из вариантов и может применяться для достижения более точной и четкой обработки сейсмической записи [23]:

$$W(f_k) = \frac{125}{2 * f_C^2} * \begin{cases} 0, & f_k < f_H \\ 2 * (f_k - f_H) & f_H < f_k \leq f_C \\ (-1) * (f_k - F_B) & f_C < f_k \leq f_B \end{cases} \quad (2.2.7)$$

Вопросы, связанные с эффективностью применения треугольной функции при неравновесной обработке (ФЧХ), будут подробно рассмотрены в разделе 3 данной работы. Также будут экспериментально определены дисперсии оценок временного положения сигнала в разделе 3 данной работы.

2.3. Оценки временного положения по функциям групповой задержки (ФГЗ) с равновесной и неравновесной обработкой

В реальных средах, таких как слоистые среды с дисперсией и поглощением, распространение сейсмических импульсов может приводить к значительным изменениям их формы [3]. В таких условиях для измерения скорости распространения импульса используется понятие групповой скорости. Групповая скорость характеризует скорость перемещения энергии или скорость перемещения максимума огибающей сигнала [3].

В контексте сейсмической разведки, групповая скорость имеет важное значение при анализе и интерпретации сейсмических данных. Она позволяет определить характеристики распространения сейсмических волн в сложных геологических средах.

Для определения групповой скорости сейсмических волн могут применяться различные методы, включая анализ огибающей сигнала, измерение временных задержек и вычисление фазовых скоростей на разных частотах. Определение групповой скорости позволяет получить информацию о физических свойствах среды, таких как ее геологическая структура и композиция.

Таким образом, понятие групповой скорости является важным инструментом для изучения и анализа сейсмических данных, особенно в сложных средах с дисперсией и поглощением, где форма сейсмических импульсов может существенно изменяться [3].

В общем случае групповая скорость является частотно зависимой функцией и имеет вид:

$$V_{\text{гр}(\omega)} = \frac{B - A}{t_{\text{гр}}(\omega)} = \frac{Y}{t_{\text{гр}}(\omega)}$$

где Y – расстояние между точками распространения сигнала A и B ;

$t_{\text{гр}}(\omega)$ - групповая задержка на частоте ω .

При этом под групповой задержкой понимается задержка максимума огибающей негармонического колебания, образованного наложением группы предельно близких по частоте гармонических колебания, величина которой определяется первой производной фазового спектра (ФЧХ):

$$t_{\text{гр}}(\omega) = - \frac{d\varphi_s(\omega)}{d\omega}$$

где $\varphi_s(\omega)$ - ФЧХ сигнала.

Для сейсмических сигналов, являющихся широкополосными, то есть охватывающими широкий диапазон частот, может быть применена теорема о стационарной фазе. В этих случаях определение групповой скорости может быть неоднозначным. Согласно теореме о стационарной фазе, основная энергия сигнала сосредоточена в области частот Ω , где фазовый спектр меняется медленно [3]. В этой области частот гармонические колебания

синхронизируются по фазе, что приводит к усилению друг друга и увеличению амплитуды максимума огибающей сигнала на сейсмограмме.

Для наглядности, рисунок 3.1. в [3] иллюстрирует зависимость $\cos \varphi(\omega)$ от частоты в полосе Ω , представляющей область стационарной фазы. На рисунке видно, что вне полосы стационарности $[\omega_0 + \Delta\omega, \omega_0 - \Delta\omega]$ положительные и отрицательные площади над и под кривой $\cos \varphi(\omega)$ быстро сменяются, и их суммарная площадь приближается к нулю. Это означает, что общая площадь почти полностью определяется площадью под кривой $\cos \varphi(\omega)$ в полосе между $\omega_0 - \Delta\omega$ и $\omega_0 + \Delta\omega$.

Таким образом, при использовании теоремы о стационарной фазе при анализе широкополосных сейсмических сигналов, основное внимание уделяется области стационарной фазы, где осуществляется усиление сигнала и наблюдается разрастание амплитуды максимума огибающей сигнала на сейсмограмме. Это позволяет сосредоточиться на информативной части сигнала и улучшить разрешающую способность обработки данных в условиях дисперсии и изменения формы сейсмических импульсов в реальных средах.

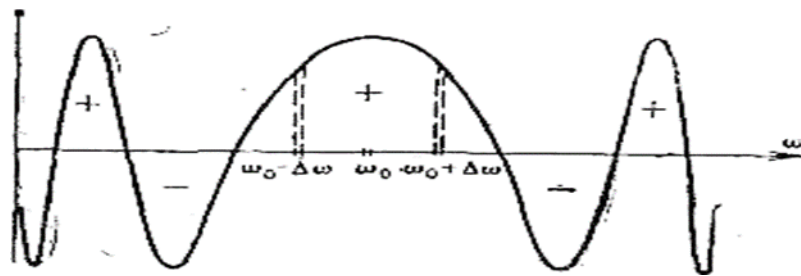


Рис.3.1. Полоса стационарности

Поэтому применительно к сейсмическим импульсам, групповой задержкой будем называть задержку максимума огибающей сигнала, величина которой определяется первой производной фазового спектра в области стационарной фазы.

Следовательно, для сейсмических импульсов, групповая задержка определяется как задержка максимума огибающей сигнала и зависит от первой производной фазового спектра в области стационарной фазы. Если

нет дисперсии при распространении волн, то групповая задержка равна фазовой задержке. Например, это выполняется для линейной функции частотно-фазовой характеристики.

$$t_{\text{гр}}(\omega) = -\frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} = \text{const}$$

и при $\omega = 0$

$$\frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \tau x(t) dt}{\int_{-\infty}^{\infty} x(t) dt} = \tau$$

Таким образом, наклон линейной ФЧХ, противоположный его исходному знаку, соответствует временному положению центра тяжести сигнала на оси времени. Таким образом, групповая задержка представляет собой оценку временного положения сигнала относительно заданной точки.

Для получения оптимальных оценок временного положения сейсмических сигналов в дисперсионных средах предлагается использовать процедуру обработки фазочастотных групповых задержек (ФГЗ). В этом случае, оптимальная обработка осуществляется на основе ФГЗ, которые содержат информацию об амплитудных соотношениях сигнала и помехи. Таким образом, функция распределения ФГЗ может быть использована для разработки эффективных алгоритмов обнаружения сейсмических сигналов в слоистых средах.

Найдем оптимальную процедуру обнаружения сигнала, все параметры которого известны, основываясь на анализе функции групповой задержки (ФГЗ). Для этого запишем необходимые функции групповой задержки

$$t_{\text{гр}}^s(\omega) = -\frac{d}{d\omega}(\varphi_s(\omega)) \quad - \quad \text{ФГЗ сигнала;}$$

$$t_{\text{гр}}^{\xi}(\omega) = -\frac{d}{d\omega}(\varphi_{\xi}(\omega)) \quad - \quad \text{ФГЗ помехи;}$$

$$t_{\text{гр}}^x(\omega) = -\frac{d}{d\omega}(\varphi_x(\omega)) \quad - \quad \text{ФГЗ смеси сигнала с помехой;}$$

$$\Delta t_{\text{гр}}(\omega) = t_{\text{гр}}^x(\omega) - t_{\text{гр}}^s(\omega) \quad - \quad \text{отклонение ФГЗ смеси от ФГЗ}$$

сигнала.

Под оптимальностью обнаружения будем, как и ранее, понимать обеспечение минимального среднего риска.

Для этого обратимся к результатам из [24], и запишем выражение для части сигнала, полученной путем обратного преобразования Фурье от спектра сигнала в окрестности частоты ω_k .

$$S_k(t) = \frac{A_k \Delta \omega}{\pi} \cdot \frac{\sin(\Delta \omega \frac{(t + t_k)}{2})}{\Delta \omega \frac{(t + t_k)}{2}} \cdot \cos(\omega_k t + \varphi_k)$$

Из полученного выражения можно сделать вывод, что ФГЗ (t) для каждой заданной частоты ω_k представляет отклонение максимума огибающей сигнала, соответствующего этой частоте, от начального временного положения $t=0$. При дальнейших рассуждениях предполагается, что ФЧХ непрерывно продолжена во всем исследуемом диапазоне частот, а функция $S_k(t)$ является квазигармоническим колебанием при достаточно малом $\Delta \omega$. Для определения плотности вероятностей групповой задержки можно использовать известное распределение экстремумов квазигармонических колебаний. В работе [25] показано, что плотность вероятностей отклонения экстремумов под воздействием произвольных интенсивных помех совпадает с плотностью вероятностей отклонения фаз.

Рассмотрим случай слабого сигнала, для которого возможно построение оптимальных оценок временного положения сигнала только для независимых значений в выборке ФГЗ смеси. Отталкиваясь от исследований, изложенных в работе [23], мы можем записать, что эти оценки находятся путем максимизации следующего функционала:

$$\ln I(\tau) = \sum_{k=1}^m \gamma(\omega_k) \cdot \cos(\omega_k (\Delta t_{\text{гп}}(\omega_k) - \tau)) \quad (2.3.1)$$

где $\Delta t_{\text{гп}}(\omega_k) = t_{\text{гп}}^x(\omega_k) - t_{\text{гп}}^s(\omega_k)$;

$\gamma(\omega_k)$ - отношение сигнал/помеха в области производных на частоте ω_k ;

m - число анализируемых частотных компонент.

Если в выражение (2.3.1) принять, что сигнал сильный, т.е. $\gamma(\omega_k) \gg 1$ для любого $k = \overline{1, m}$, то нетрудно показать, что максимизация функционала (2.3.1) позволяет получить непосредственную оценку временного положения для случая сильного сигнала в виде [23]:

$$\hat{\tau} = \frac{\sum_{k=1}^m \gamma^2(\omega_k) \cdot \omega_k^2 \cdot \Delta t_{\text{гр}}(\omega_k)}{\sum_{k=1}^m \gamma^2(\omega_k) \cdot \omega_k^2} \quad (2.3.2)$$

Выражение (2.3.2) имеет отличие от оптимальной процедуры определения временного положения для сильного сигнала в качестве добавления весовых коэффициентов. Однако, если при выводе (2.3.1) вместо перехода $\varphi_x(\omega_k) = \omega_k \cdot t_{\text{гр}}^x(\omega_k)$ [23], использовать переход $\varphi_x(\omega_k) = \Delta\omega \cdot t_{\text{гр}}^x(\omega_k)$, то выражение (2.3.2) трансформируется в:

$$\hat{\tau} = \frac{\sum_{k=1}^m \gamma^2(\omega_k) \cdot \Delta t_{\text{гр}}(\omega_k)}{\sum_{k=1}^m \gamma^2(\omega_k)} \quad (2.3.3)$$

И полностью совпадает с оптимальной оценкой временного положения сильного сигнала. Функция правдоподобия (2.3.1) для слабого сигнала в этом случае приобретает вид:

$$\ln I(\tau) = \sum_{k=1}^m \gamma(\omega_k) \cdot \cos(\Delta\omega(\Delta t_{\text{гр}}(\omega_k) - \tau)) \quad (2.3.4)$$

Тогда выражение (2.3.4) можно принять как метод оценки огибающей сигнала, основанный на использовании функций группового запаздывания [26]. А положение максимума огибающей (2.3.4) тогда, будет определять оптимальную оценку временного положения сигнала как для случая слабого сигнала, так и для случая сильного сигнала.

Однако, применение оптимального алгоритма (2.3.4) на практике требует формирования распределения отношения сигнал/помеха в области производных $\gamma(\omega_k)$ по анализируемой области частот, что представляет сложную задачу. Поэтому, подобно использованию функции частотно-фазовой характеристики (ФЧХ) (раздел 2.2), разработка алгоритмов, основанных на функциях группового запаздывания, также представляет интерес и может отличаться от оптимального метода.

Примем в (2.3.4) $\gamma(\omega_k) = 1$ для всех $k = \overline{1, m}$ и для случая слабого сигнала получим:

$$\ln I(\tau) = \sum_{k=1}^m \cos(\Delta\omega(\Delta t_{\text{гр}}(\omega_k) - \tau)) \quad (2.3.5)$$

Выражение (2.3.5) представляет собой алгоритмы оценки временного положения для слабого сигнала с равновесной обработкой. Важно отметить, что равновесная обработка может привести к некоторому снижению точности получаемых оценок, однако эти потери не являются значительными, подобно использованию ФЧХ.

Да, преимуществом таких алгоритмов является то, что они не требуют знания точного распределения $\gamma(\omega_k)$ для всех $k = \overline{1, m}$, которое на практике может быть неизвестно. Это позволяет применять алгоритмы даже в случае ограниченной информации о распределении сигнала.

Кроме того, эффективность алгоритмов может быть повышена путем перехода от равновесной к неравновесной обработке данных. Равновесная обработка использует прямоугольные весовые функции, которые обеспечивают одинаковый вклад всех частотных компонент сигнала. Однако, такая равномерная обработка может приводить к возникновению боковых лепестков и потере разрешающей способности.

В неравновесной обработке применяются весовые функции с зависимостью от частоты, такие как треугольные функции с смещенным максимумом. Эти весовые функции позволяют сосредоточиться на информативных частотах сигнала и снизить уровень боковых лепестков. Таким образом, переход к неравновесной обработке способствует повышению эффективности алгоритма и улучшению разрешающей способности сейсмических данных.

Максимизация функционала в случае слабого сигнала является одним из методов оптимизации обработки данных. Целью максимизации функционала является повышение отношения сигнал-шум и улучшение обнаружения и оценки слабых сигналов. Этот подход позволяет улучшить

эффективность алгоритмов, даже если они не являются абсолютно оптимальными. Например, для случая слабого сигнала может быть использована максимизация функционала:

$$\ln I(\tau) = \sum_{k=1}^m W(\omega_k) \cos \left(\Delta\omega (\Delta t_{\text{гп}}(\omega_k) - \tau) \right) \quad (2.3.6)$$

3. Разработка и исследования помехоустойчивости фазочастотных алгоритмов на моделях сейсмических записей

Для разработки алгоритмов предварительно рассмотрим формирование математической модели сейсмической записи.

3.1. Построение математической модели сейсмической трассы

Сейсмическое поле волн $X(t, l)$ является совокупностью сейсмограмм, которые были получены по длине профиля наблюдения. Модель сейсмического поля волн с математической стороны, включает в себя сигнальную составляющую и аддитивную помеху. Сигнальную составляющую $S(t, l)$ можно формально представить в виде двух аддитивных компонент:

$$S(t, l) = S1(t, l) + S2(t, l) \quad (3.1.1)$$

Первая компонента сигнала представляет собой суперпозицию регулярных волн, которые являются полезными для интерпретации данных. Эти волны соответствуют однократно отраженным волнам при использовании метода отраженных волн (МОВ). Они содержат информацию о строении и свойствах исследуемой среды.

Вторая составляющая сигнала содержит в себе регулярные волны помехи, такие как шумы. Шумовой процесс является сложным и обладает множеством независимых причин, которые влияют на его поведение. Причины эти быть могут независимыми и несогласованными, что и делает шумовой процесс сложным для моделирования и анализа [27]. В виду этой причины, для удобства анализа предполагаем, что шумовая компонента $\xi(t, l)$ подчиняется нормальному закону распределения [27]. Такое предположение позволяет использовать статистические методы для моделирования и обработки шумовых компонент. Таким образом, общая статистическая модель сейсмограммы может быть представлена следующим образом (как показано в [2]):

$$X(t, l) = \sum_i a_i \cdot f(t - \tau_i - \Delta t_i(l) + \xi(t, l)) \quad (3.1.2)$$

где $f(t)$ - форма отдельной волны;

a_i - амплитуда волны;

τ_i - время за которое волна приходит в точку профиля $l = 0$;

$\Delta t_i = l/v$ – величина изменения времени от трассы к трассе;

v_i - кажущаяся скорость волны.

Из формулы (3.1.2) полагается, что каждую сейсмическую трассу можно представить в виде суммы двух независимых процессов: сигнального и шумового. Сигнальный процесс заключается в наложении большого числа волн одинаковой формы, которые отличаются амплитудами и временем прихода. Из выше сказанного, априорная информация, о спектральном составе и форме волн, является важной при построении алгоритмов обработки сейсмических данных. Ее следует учитывать при моделировании сейсмограммы.

В данном случае мы ограничиваем анализ смесью аддитивных полезных волн, которые являются регулярными однократно-отраженными волнами. Параметры этих волн могут быть известными. Вместе с полезными волнами присутствуют также нерегулярные помехи, которые вносят дополнительные изменения в сейсмограмму.

Рассмотрим кратко варианты формализации сейсмических сигналов:

1. Форма сигнала известна с точностью до амплитудного множителя

$$s_i(t) = a_i \cdot f(t - \tau_i - \Delta t_i(l)) \quad (3.1.3)$$

где a_i - амплитуда, пропорциональная коэффициенту отражения волны;

$\tau_i - \Delta t_i(l)$ - уравнение годографа волны, характеризующее время прихода на трассу с номером l .

2. Форма сигнала задана аналитически с точностью до неизвестных параметров. Например, можно аппроксимировать форму сигнала функцией с колокольной огибающей

$$s_i(t) = a_i \cdot e^{-\beta_i^2(t-\tau_i-\Delta t_i(l))^2} \cdot \cos(\omega_i(t - \tau_i - \Delta t_i(l))) \quad (3.1.4)$$

где β_i^2 и ω_i - соответственно коэффициент затухания и круговая частота волны с номером i .

Выражения (3.1.3) и (3.1.4) наиболее благоприятны для составления алгоритмов обработки сейсмических данных, являющихся оптимальными, потому что они допускают непосредственное применение классических байесовских критериев.

Регистрируемая форма импульсов в реальных условиях может быть весьма разнообразной и иметь особо сложный характер при распространении колебаний в тонкослоистых средах, когда эффекты, связанные с интерференцией волн, особо значимо проявляются на записи. Основные закономерности, характерные для импульсов простых отраженных волн на основе анализа реальных данных, могут быть выражены следующими пунктами [2]:

1) Длительность колебаний импульсов на практике, в основном, не превосходит 2-3 преобладающих периодов волны. Что значит, что импульсы обладают относительно короткой продолжительностью.

2) Импульсы имеют плавную огибающую, при этом начальные и конечные фазы имеют меньшую амплитуду по сравнению с центральными фазами. Такое поведение огибающей связано с процессами отражения и распространения сейсмических волн.

3) Сейсмоимпульсы в основном характеризуются плавным нарастанием первого отклонения, то есть начальная скорость смещения равна нулю. При этом ускорение или производные от смещения более высокого порядка могут иметь скачкообразные изменения. Это явление связано с особенностями процессов возникновения и распространения сейсмических импульсов.

4) На практике, чтобы аппроксимировать реальные импульсы, наблюдаемые при сейсмических исследованиях, часто используют выражения [2]:

1. Выражение описывающее импульс с формой колокольной огибающей

$$S(t) = a_0 \cdot e^{-\beta^2 t^2} \cdot \cos(2\pi f_0 t + \varphi_0) \quad (3.1.5)$$

где β - коэффициент затухания, f_0 - преобладающая частота, φ_0 - фазовый сдвиг.

2. Выражение описывающее импульс Берлаге

$$S(t) = a_0 \cdot t^n e^{-\beta t} \cdot \sin 2\pi f_0 t, t \geq 0, n = 1, 2, 3, \dots, \quad (3.1.6)$$

где β , n - параметры, определяющие конкретный вид огибающей импульса, f_0 - преобладающая частота.

На основании рассмотренных моделей, была построена модель одиночной сейсмотрассы в виде:

$$X(t) = S(t) + N(t) \quad (3.1.7)$$

Где $S(t)$ – импульс с колокольной огибающей;

$N(t)$ – гауссовский шум;

В качестве критерия отношения сигнал\шум было принято отношение максимального значения сигнала к среднеквадратичному значению шума:

$$\rho = \frac{A_s}{\sigma} \quad (3.1.8)$$

Для построения модели, как уже отмечалось выше, был принят импульс с колокольной огибающей вида:

$$S(t) = a_0 \cdot e^{-\beta^2 t^2} \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi) \quad (3.1.9)$$

где a_0 – амплитуда сигнала;

β – коэффициент задержки;

$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0$ – угловая частота;

f_0 – частота сигнала;

φ – начальная фаза сигнала;

При моделировании задавались следующие параметры:

$a_0 = 1$; $\beta = 60$; $f_0 = 40$ Гц; $\varphi = 0$;

Временной интервал задавался в пределах 120 мс с шагом дискретизации составляющим 2 мс.

Шум генерировался датчиком случайных чисел (ДСЧ) с нормальным законом распределения.

Для того, чтобы иметь наглядное представление о том, как выглядит форма, приведён рис.3.1.1 на котором представлен вид сигнала с колокольной огибающей. Также представлен вид смеси сигнала шумом на рис. 3.1.2. На данном рисунке отношение сигнал шум составляет $\rho = 5$.

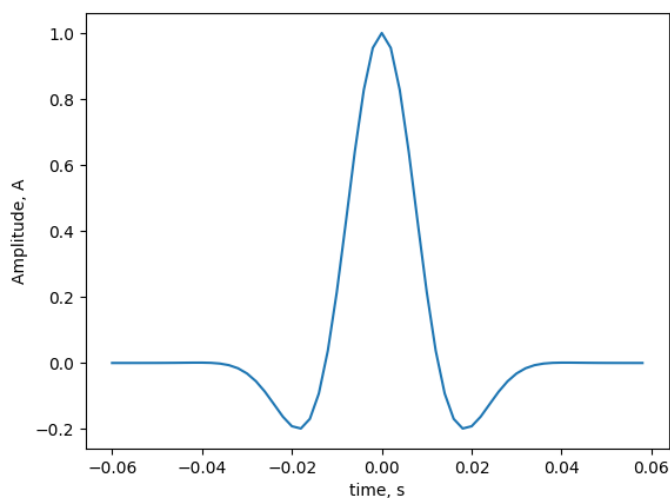


Рис.3.1.1. Вид формы чистого сигнала с колокольной огибающей

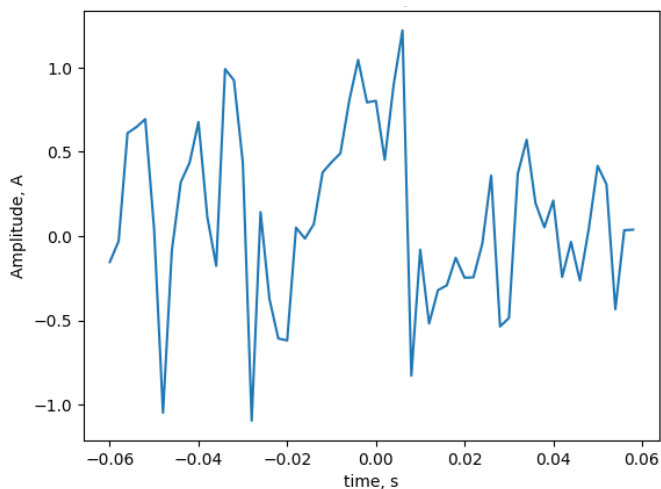


Рис.3.1.2. Вид зашумлённого сигнала (участок сейсмотрассы) с $\sigma = 0.5$ для шума

Далее необходимое отношение сигнал\шум формировались путём изменения среднеквадратичного отклонения шума. Также для иллюстрации на рис.3.1.3. приведён пример расчёта ФЧХ для сгенерированных моделей.

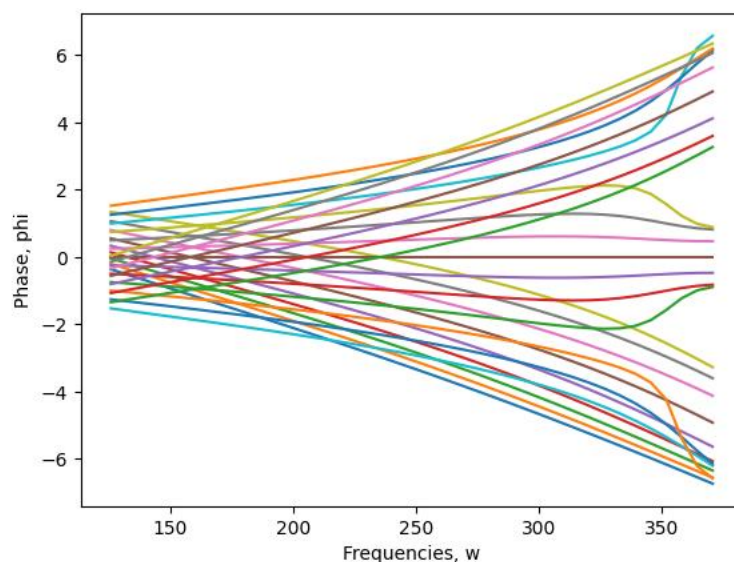


Рис.3.1.3. ФЧХ каждого окна для сгенерированной модели

Теперь, когда модель сгенерирована, перейдем непосредственно к разработке алгоритмов.

3.2. Описание и исследование алгоритма оценки временного положения сигналов по ФЧХ

Рассмотрим алгоритм прослеживания волн на основе анализа ФЧХ с равновесной обработкой. На рисунке 3.2.1 приведена структурная схема разработанного алгоритма.

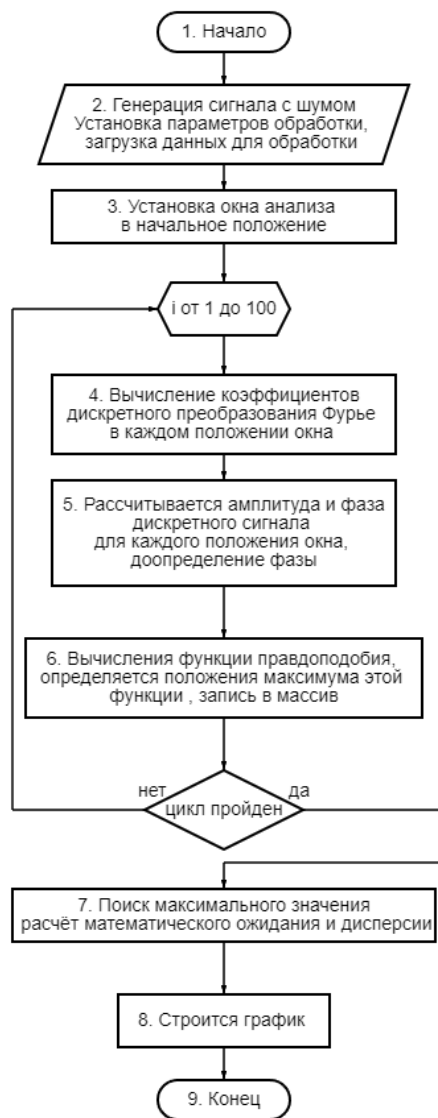


Рис.3.2.1. Структурная схема алгоритма ФЧП с равновесной обработкой

Остановимся более подробно на основных блоках алгоритма.

2 – генерируется аддитивная смесь сигнала с шумом, задаётся отношение сигнал/шум, устанавливаются параметры для окна прослеживания сигнала;

3 – установка окна на начало сейсмотрассы;

Вход в цикл, который состоит из 100 итераций для получения выборки.

4 – Для дискретного преобразования Фурье вычисляются коэффициенты для каждого положения окна анализа по формулам:

$$A(\omega) = \sum_{t=t_0}^{t_n} X(t) \cdot \cos(\omega \cdot t), B(\omega) = \sum_{t=t_0}^{t_n} X(t) \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

где $X(t)$ – значение аддитивной смеси сигнала с шумом в данный момент времени,

ω – частота,

t – Рассматриваемый момент времени;

5 – Рассчитывается амплитуда и фаза дискретного сигнала для данного положения окна по формулам:

$$|Amp(\omega)| = \sqrt{A(\omega)^2 + B(\omega)^2}$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg\left(\frac{B(\omega)}{A(\omega)}\right)$$

Происходит доопределение фазы по формуле:

$$\varphi(\omega_1, \tau) = \varphi^p(\omega_1, \tau),$$

$$\varphi(\omega_m, \tau) = \varphi(\omega_{m-1}, \tau) + (\varphi^p(\omega_m, \tau) - \varphi^p(\omega_{m-1}, \tau)) + B$$

где $1 \leq m \leq N$;

N - Число частот;

$$B = \begin{cases} 0, & |\varphi^p(\omega_m, \tau) - \varphi^p(\omega_{m-1}, \tau)| < \pi \\ +2\pi, & (\varphi^p(\omega_m, \tau) - \varphi^p(\omega_{m-1}, \tau)) \leq \pi; \\ -2\pi, & (\varphi^p(\omega_m, \tau) - \varphi^p(\omega_{m-1}, \tau)) \geq \pi \end{cases}$$

Также рассчитываем функцию правдоподобия сигнала по формуле:

$$L(\tau) = \sum_{k=1}^m \cos[\Delta\varphi(\omega_k) - \omega_k \tau]$$

6 – Определяется положения максимума функции правдоподобия и запоминается в массиве. После максимальное значение из массива максимумов запоминается в новом массиве.

7 – Поиск максимально значения в массиве расчёт математического ожидания и дисперсии.

8 – Строится график зависимости дисперсии и математического ожидания временного положения сигнала в зависимости от отношения сигнал/шум и для них рассчитываются доверительные интервалы.

По разработанному алгоритму была написана программа на языке Python, которая приведена в приложении 1.

Вычислительный эксперимент на основе разработанного алгоритма проводился на математической модели, построенной в разделе 3.1. Для каждого отношения сигнал/шум проводилось 100 экспериментов. В результате были рассчитаны математические ожидания и дисперсии временного положения сигнала в зависимости от заданного отношения сигнал/шум. Доверительные интервалы рассчитывались при уровне значимости 0,05. На рисунке 3.2.2. показаны зависимости полученных оценок от отношения сигнал/шум и их доверительные интервалы.

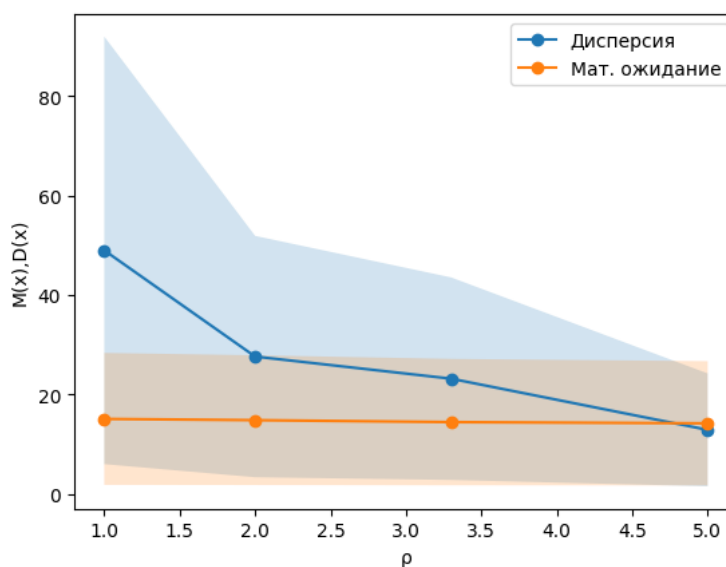


Рис.3.2.2. Зависимость математического ожидания и дисперсии временного положения сигнала от отношения сигнал/шум для ФЧП с равновесной обработкой

Из рисунка 3.2.2 можно увидеть, что математическое ожидание временного положения сигнала практически не изменяется в зависимости от отношения сигнал/шум, это говорит об отсутствии систематической погрешности. Дисперсия же оценки, как и следовало ожидать, уменьшается с увеличением отношения сигнал/шум, но даже при $\rho = 2$ составляет не более 30 мс^2 или порядка 4 отсчетов вправо и влево. Таким образом, можно говорить, что данный метод позволяет получить достаточно надежные оценки временного положения.

3.3. Описание и исследование алгоритма оценки временного положения сигналов по ФГЗ

Рассмотрим алгоритм прослеживания волн на основе анализа ФГЗ с равновесной обработкой. На рисунке 3.3.1 приведена структурная схема разработанного алгоритма.



Рис.3.3.1. Структурная схема алгоритма ФГЗ с равновесной обработкой

Остановимся более подробно на основных блоках алгоритма.

2— генерация сигнала и шума с заданными характеристиками,
установка параметров окна прослеживания сигнала;

3 – установка окна на начало сейсмотрассы;

4 – проводится дискретное преобразование Фурье (вычисление коэффициентов) по формулам:

$$A(\omega) = \sum_{t=t_0}^{t_n} X(t) \cdot \cos(\omega \cdot t) \text{ и } B(\omega) = \sum_{t=t_0}^{t_n} X(t) \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

где $X(t)$ – значение аддитивной смеси сигнала с шумом в данный момент времени.

ω – частота,

t – Рассматриваемый момент времени.

i – Порядковый номер слагаемого (от 0 до n);

5 – Рассчитывается амплитуда и фаза дискретного сигнала для данного положения окна по формулам:

$$|Amp(\omega)| = \sqrt{A(\omega)^2 + B(\omega)^2}$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg\left(\frac{B(\omega)}{A(\omega)}\right)$$

6 – Происходит доопределение фазы по формуле:

$$\varphi(\omega_1, \tau) = \varphi^p(\omega_1, \tau),$$

$$\varphi(\omega_m, \tau) = \varphi(\omega_{m-1}, \tau) + (\varphi^p(\omega_m, \tau) - \varphi^p(\omega_{m-1}, \tau)) + B$$

где $1 \leq m \leq N$;

N - Число частот;

$$B = \begin{cases} 0, & |\varphi^p(\omega_m, \tau) - \varphi^p(\omega_{m-1}, \tau)| < \pi \\ +2\pi, & (\varphi^p(\omega_m, \tau) - \varphi^p(\omega_{m-1}, \tau)) \leq \pi; \\ -2\pi, & (\varphi^p(\omega_m, \tau) - \varphi^p(\omega_{m-1}, \tau)) \geq \pi \end{cases}$$

Рассчитываем производные от фазового спектра.

Для расчёта производных в алгоритме использовалась функция **np.gradient()**, которая вычисляет численную разностную производную массива **A** или **B** по массиву **w[k]**. Таким образом, с помощью **np.gradient()** выполняется приближенное численное вычисление производной.

7 – после чего рассчитываем функцию правдоподобия сигнала:

$$\ln I(\tau) = \sum_{k=1}^m \cos(\Delta\omega(\Delta t_{cp}(\omega_k) - \tau))$$

8 – далее определяется положения максимума этой функции и рассчитывается математическое ожидание и дисперсия.

9 – Строится график зависимости оценок временного положения сигнала в зависимости от отношения сигнал/шум, а также для них рассчитываются доверительные интервалы.

По разработанному алгоритму была написана программа на языке Python, которая приведена в приложении 2.

Результатом работы данного алгоритма является зависимость, представленная на рисунке 3.3.2.

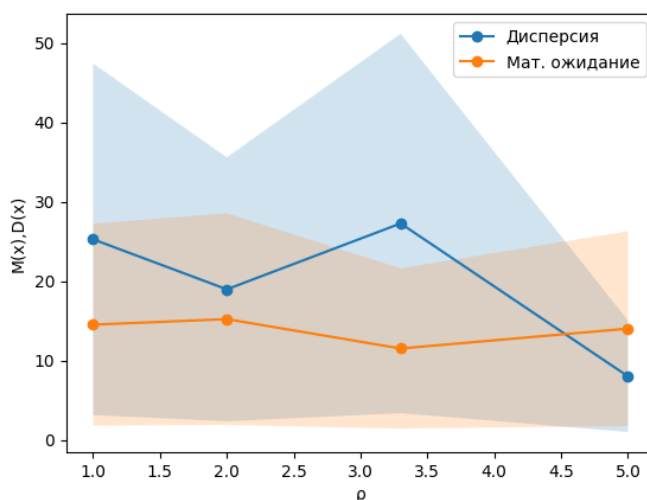


Рис.3.2.4. Зависимость математического ожидания и дисперсии временного положения сигнала от отношения сигнал/шум для ФГЗ с равновесной обработкой

Из приведенного рисунка видно, что математическое ожидание временного положения сигнала колеблется в пределах 2-4 мс от истинного положения сигнала, что говорит о минимальной систематической погрешности. Дисперсия оценки, как и следовало ожидать, уменьшается с увеличением отношения сигнал/шум, хотя и наблюдается выброс при $\rho = 3,3$. Однако даже при $\rho = 2$ дисперсия составляет не более 20 мс² или порядка 3 отсчетов вправо и влево. Таким образом, можно говорить, что данный метод позволяет получить достаточно надежные оценки временного положения. Это особенно важно, так как данный алгоритм может быть эффективно использован при наличии дисперсии геологических сред.

3.4. Сравнение полученных результатов с результатами прослеживания корреляционным приемником

Для оценки эффективности разработанных алгоритмов проведем их сравнение с широко используемым на практике корреляционным алгоритмом. Для этого был разработан алгоритм, реализующий процедуру вычисления взаимной корреляционной функцией между сейсмической трассой и эталонным сигналом. В качестве сейсмической трассы использовалась, как и ранее модель из раздела 3.1., а в качестве эталонного сигнала принимался импульс с колокольной огибающей. На рисунке 3.4.1. представлена структурная схема, реализующая корреляционный приемник.



Рис.3.4.1. Структурная нахождения временного положения сигнала при использовании ВКФ

Дадим краткие пояснения к структурной схеме. Как и ранее сначала сгенерируем смесь сигнала с шумом с заданными статистическими характеристиками. Затем выберем окно анализа и проведем вычисления ВКФ

между смесью и чистым сигналом. При этом длительность сигнала будет соответствовать длительности окна анализа. Далее найдем максимум ВКФ и повторим эксперимент 100 раз. На основании полученных результатов рассчитаем математическое ожидание и дисперсию временного положения сигнала. Результаты применения данного алгоритма представлены на рисунке 3.4.2.

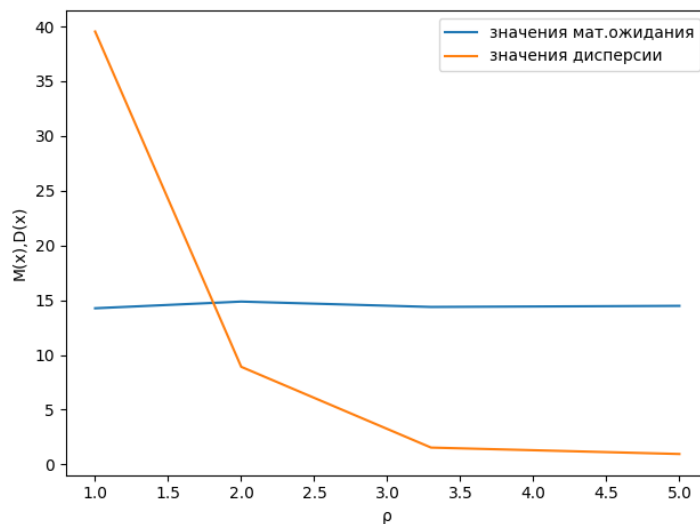


Рис.3.4.2. Математическое ожидание и дисперсия временного положения сигнала, определенного по ВКФ в зависимости от отношения сигнал/шум

Проведем сравнение полученных результатов с ранее найденными оценками по ФЧХ и ФГЗ. Для этого приведем два рисунка, сопоставляющие полученные результаты. На рисунке 3.4.3 представлены математические ожидания для трех рассмотренных методов, а на рисунке 3.4.4 соответственно дисперсии оценок временного положения также для трех методов. Из рисунка 3.4.3 видно, что математические ожидания мало отличаются и все три метода обеспечивают в среднем хорошую точность даже при отношениях сигнал/шум, близких к единице.

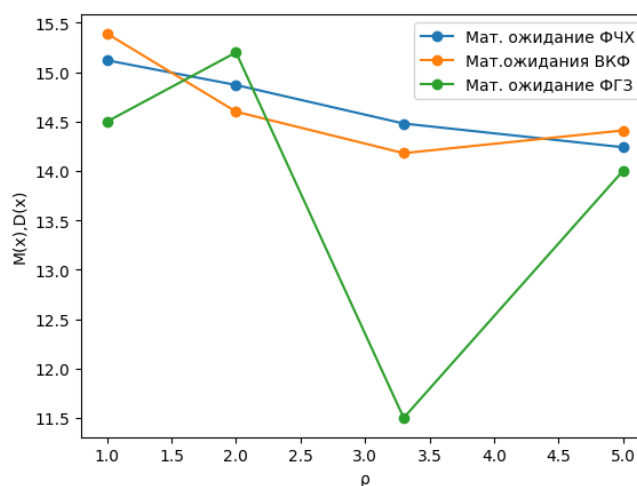


Рис.3.4.3 Математические ожидания оценок временного положения для трех рассмотренных методов

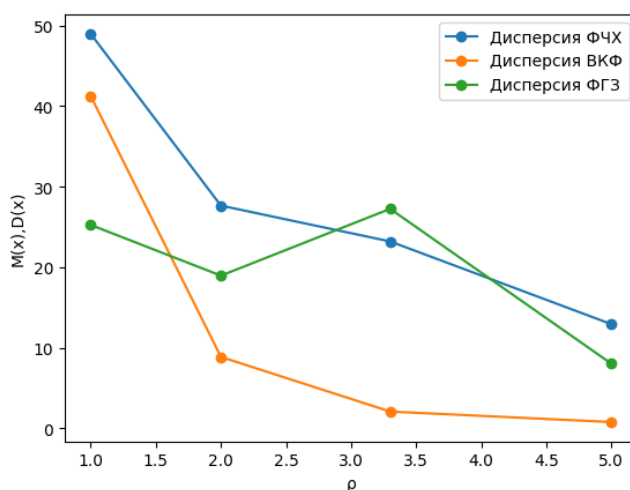


Рис.3.4.4 Дисперсии оценок временного положения также для трех рассмотренных методов

Анализ рисунка 3.4.4 показал, что корреляционный приемник обеспечивает более низкую дисперсию. Однако не следует забывать, что на практике форма сигнала неизвестна и в качестве эталона обычно используют некоторую оценку формы сигнала, что естественно приведет к существенному снижению точности определения временного положения сигналов. В отличие от корреляционного приемника фазочастотные методы не требуют знания формы сигнала, что является их несомненным преимуществом.

4. Примеры прослеживания сейсмических волн на реальных данных

Разработанный алгоритм ФЧП был опробован для обработки реального волнового разреза общей глубинной точки (ОГТ).

4.1. Исходное волновое поле

В качестве исходного разреза был выбран разрез ОГТ, полученный после стандартной обработки на Крапивинском месторождении Томской области. На рис. 5 приведен фрагмент разреза (Крапивинское месторождение, Томская обл.) после стандартной обработки.

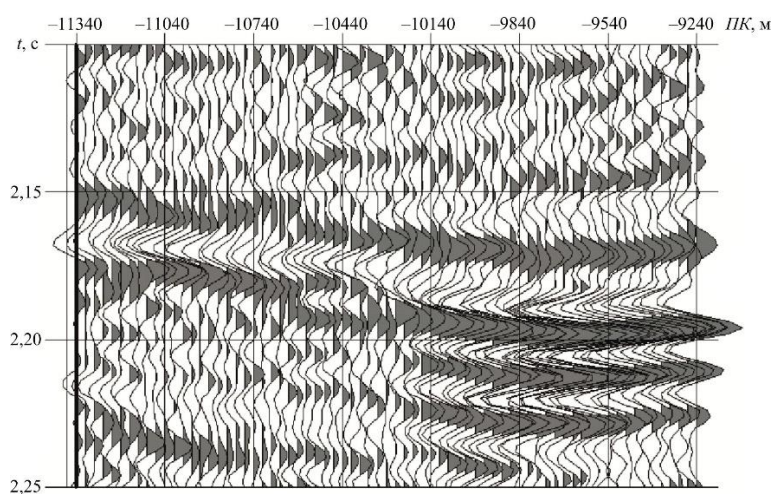


Рис. 4.1. Исходный разрез

4.2. Результаты применения разработанных алгоритмов

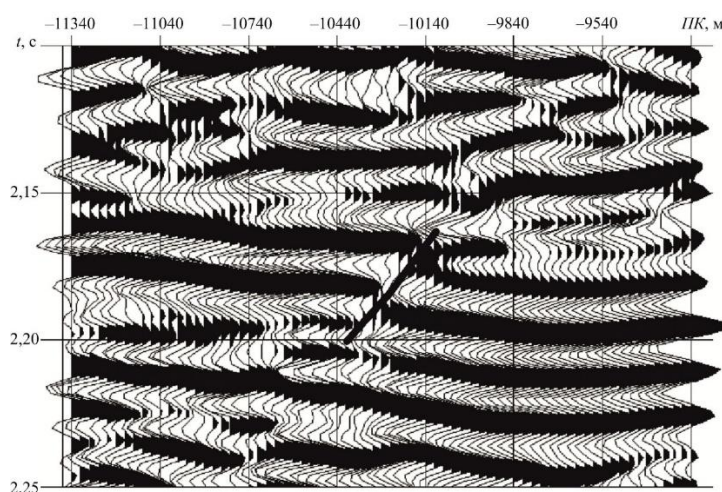


Рис. 6. Фрагменты разреза после ФЧП

Из рисунка видно, что в результате проведения ФЧП удалось выделить оси синфазности, которые на исходном разрезе не прослеживались.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель данной НИР (ВКР) – Разработка алгоритмов определения временного положения сейсмических сигналов по оценкам их фазочастотных характеристик, проведение исследования алгоритмов на моделях сейсмических записей.

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

Целевой аудиторией выпускной квалификационной работы будут являться нефтедобывающие и газодобывающие компании. Их можно разделить

на следующие сегменты:

1. Компании, занимающиеся добычей газа

2. Компании, занимающиеся добычей нефти

5.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Был проведен анализ разработок конкурентных алгоритмов. Была использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- 1) технические характеристики разработки;
- 1) конкурентоспособность разработки;
- 2) уровень завершенности научного исследования;
- 3) бюджет разработки;
- 4) уровень проникновения на рынок;
- 5) финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения

и т.д.

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

В качестве конкурентного технического решения выступает - метод на основе применения взаимно корреляционной функции (ВКФ) вертикального сейсмического профилирования в программном обеспечении управления комплексом приема сейсмических сигналов.

Функции корреляции сигналов применяются для интегральных количественных оценок формы сигналов и степени их сходства друг с другом. Основан метод на вычислении ВКФ в скользящем вдоль трассы окне анализа для участка сейсмотрассы.

Детальный анализ необходим, т.к. каждый метод имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 5.1 показано сравнение методов конкурентов и разработки данной ВКР с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 5.1 – Сравнение конкурентных приложений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Конкурентоспособность
-----------------	--------------	-------	-----------------------

		Б _ф	Б _{кл}	К _ф	К _{кл}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Простота эксплуатации	0.17	4	3	0.68	0.51
2. Потребность в ресурсах памяти	0.1	4	3	0.4	0.3
3. Точность результатов	0.17	5	2	0.85	0.34
4. Предоставляемые возможности	0.14	4	4	0.56	0.56
5. Скорость работы	0.08	2	3	0.16	0.24
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность	0,15	4	3	0.6	0.45
2. Уровень проникновения на рынок	0,11	4	5	0.44	0.55
3. Цена	0,04	3	3	0.12	0.12
6. Срок выхода на рынок	0,03	2	3	0.06	0.09
7. Наличие сертификации разработки	0,01	2	3	0.02	0.04
Итого	1	34	32	3.89	3.32

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i = 3.89, \quad (5.1.1.1)$$

где К – конкурентоспособность проекта; В_і – вес показателя (в долях единицы); В_і – балл показателя.

Согласно проведенному анализу, можно сделать вывод, что разрабатываемый алгоритм лучше в сравнении со своим конкурентом.

Сильными сторонами разрабатываемого алгоритма являются его точность результатов, простота эксплуатации, конкурентоспособность и точность результатов.

Слабыми сторонами является скорость работы и предоставляемые возможности алгоритма, так как алгоритм является узконаправленным.

5.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
C1. Низкая стоимость проекта.	Сл1. Узкая направленность потенциального приложения.
C2. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.	Сл2. Вероятность получения неверных результатов работы.
C3. Возможность применения алгоритма при наличии зашумленности.	Сл3. Низкая квалификация исполнителя.
Возможности	Угрозы
B1. Появление потенциального спроса на новые разработки.	У1. Отсутствие спроса на заявленную технологию.
B2. Увеличение вычислительных мощностей ПЭВМ, а также их доступности.	У2. Появление конкурентов, потенциально применяющих более совершенный подход.

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 5.3–5.6

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта				
Возможност и проекта		C1	C2	C3
	B1	+	+	+
	B2	-	+	-

Таблица 5.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	-
	B2	+	-	+

Таблица 5.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		С1	С2	С3
	У1	-	-	-
	У2	+	-	+

Таблица 5.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	+	-
	У2	-	-	+

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 5.7.

Таблица 5.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Низкая стоимость проекта. С2. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта. С3. Возможность применения алгоритма при наличии зашумленности.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Узкая направленность потенциального приложения. Сл2. Вероятность получения неверных результатов работы. Сл3. Низкая квалификация исполнителя..
Возможности В1. Появление потенциального спроса на новые разработки. В2. Увеличение вычислительных мощностей ПЭВМ, а также их доступности.	Направления развития В1С1С2С3. Благодаря используемой свежей информации, низкой стоимости и некоторых конкретных возможностей появится спрос на новые разработки в этой области. В2С2. Увеличение возможностей вычислительных мощностей ПЭВМ с появлением новой информации	Сдерживающие факторы В2Сл1Сл3. Увеличение возможностей использования алгоритма.

	даёт возможность для развития.	
Угрозы У1. Отсутствие спроса на заявленную технологию. У2. Появление конкурентов, потенциально применяющих более совершенный подход.	Угрозы развития У2С1С3. Зарубежные аналоги будут пользоваться большим спросом не зависимо от цены разработки.	Уязвимости: У1Сл2. Из-за узкой направленности программа должна работать исправно, для того чтобы был спрос. У2Сл3. Конкуренция при низкой квалификации больше.

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества и недостатки присутствуют в равной мере. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

5.2. Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
----------------	---	------------------	-----------------------

	раб		
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения работ	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	инженер
	4	Выбор методов исследования	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка данных для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Инженер

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (5.2.2.1)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}, \quad (5.2.2.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki \text{ мнж}} = T_{pi} * k_{\text{кал}}, \quad (5.2.2.3)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал мнж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1.48, \quad (5.2.2.4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – общее количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – общее количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – общее количество праздничных дней в году (2023 год).

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Длительность работ в рабочих днях	Длительность работ в календарных
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ожи}$, чел-дни		

	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	T_{pi}	дней T_{ki}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения работ	1	3	3	4	1,8	3,4	2,6	4
3. Обзор научной литературы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	11
4. Выбор методов исследования	3	-	5	-	3,8	-	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	6,8	4,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	15	-	20	-	17	17	25
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,3	5
10. Составление пояснительной записки	-	8	-	10	-	8,8	8,8	13
Итого:	10	56	15	84	10,2	69	68,5	102

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

№	Вид работ	Исп	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4	 											
3	Обзор научной литературы	Исп1	11												
4	Выбор методов исследования	Исп2	6												
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7			 									
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	9												
7	Проведение эксперимента	Исп2	25												
8	Обработка полученных данных	Исп2	18												
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5								 				
10	Составление пояснительной записки	Исп2	13												

Примечание:



– Исп. 1 (научный руководитель),  – Исп. 2 (инженер)

5.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты выпускной квалификационной работы (ВКР);
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы ВКР.

5.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Так как данное исследование связано с теоретическими разработками, то в качестве материальных затрат будут взяты следующие материалы:

Таблица 5.11 – материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	340	3	1 020
Картридж для лазерного принтера	3 490	1	3 490
Итого:			4 510

Цены приняты на основании прайс-листа поставщика материалов: <https://papirus-tomsk.ru>, <https://mvideo.ru>.

5.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (5.3.2.1)$$

где n - срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A * И}{12} * m, \quad (5.3.2.2)$$

где B – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

При выполнении научно-исследовательского проекта использовался ПЭВМ - Dell. Срок полезного использования данного ноутбука по паспорту составляет 3 года.

Таблица 5.12 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования,	Цены единицы оборудования,	Общая стоимость оборудования,
---	---------------------------	-------------	-------------------------------	----------------------------	-------------------------------

			лет	тыс. руб.	тыс. руб.
1	ПЭВМ	1	3	39	39
Итого		39 тыс. руб.			

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года:

$$H_A = \frac{1}{3} = 0,33.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{0,33 * 39000}{12} * 3 = 3217,5 \text{ руб.}$$

5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_p, \quad (5.3.3.1)$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 5.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m * M}{F_d} = \frac{51285 * 10.3}{246} = 2147.3 \text{ руб.}, \quad (5.3.3.2)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней – М = 10,3 месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$З_{дн} = \frac{З_{м} * М}{F_{д}} = \frac{33150 * 11.2}{213} = 1743.1 \text{ руб.} \quad (5.3.3.3)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$З_{м} = З_{мс} * (1 + k_{np} + k_{д}) * k_{p} \quad (5.3.3.4)$$

где $З_{мс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3;

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

k_{p} – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

$$З_{м} = 26300 * (1 + 0.3 + 0.2) * 1.3 = 51285 \text{ руб}$$

– для инженера:

$$З_{м} = З_{мс} * (1 + k_{np} + k_{д}) * k_{p} \quad (5.3.3.5)$$

$$З_{м} = 17000 * (1 + 0.3 + 0.2) * 1.3 = 33150 \text{ руб.}$$

Таблица 5.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 5.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$З_{мс}, \text{руб}$	k_{np}	$k_{д}$	k_{p}	$З_{м}, \text{руб}$	$З_{дн}, \text{руб}$	$T_{p}, \text{раб.дн.}$	$З_{осн}, \text{руб}$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	10,2	21902,46
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	69	120273,9
Итого:								142176,36

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * З_{\text{осн}} = 0.15 * 21902,46 = 3285,37 \text{ руб.} \quad (5.3.3.6)$$

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

– для инженера:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * З_{\text{осн}} = 0.15 * 120273,9 = 18041,09 \text{ руб.} \quad (5.3.3.7)$$

5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$\begin{aligned} З_{\text{внеб}} &= k_{\text{внеб}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = \\ &= 0.3 * (21902,46 + 3285,37) = 7556,35 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (5.3.4.1)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2023 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

– для инженера:

$$\begin{aligned} З_{\text{внеб}} &= k_{\text{внеб}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = \\ &= 0.3 * (120273,9 + 18041,09) = 41494,5 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (5.3.4.2)$$

5.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 5. 15 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
3217,5	4 510	142176,36	21326,46	49051,85	220282,17

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) * k_{np} = (220282,17) * 0,2 = 44056,43 \text{ руб, (5.3.3.10)}$$

где k_{np} – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

5.3.6 Бюджет НИР

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости ВКР «Алгоритмы определения временного положения сейсмических сигналов по оценкам их фазочастотных характеристик» по форме, приведенной в таблице 5.16.

В таблице также представлено определение бюджета затрат конкурирующего проекта. Различия будут отражены в ЗП сотрудников и количестве оборудования (будет взято большее количество ноутбуков и канцелярских наборов (5 шт.). В качестве разработчиков конкурентного метода возьмём количество людей, участвующих в написании работы «Методы получения и обработки данных от связки скважинных модулей, полученных методом вертикального сейсмического профилирования в программном обеспечении управления комплексом приема сейсмических сигналов в скважине»- 5 человек. Если рассматривать реализацию алгоритмов, то в качестве профессии возьмём - программиста. Средняя заработная плата программиста была взята из источника:

<https://www.avito.ru/tomsk/vakansii?cd=1&q=программист>.

Таблица 5.16 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
		Текущий Проект	Конкурирующий Проект	
1	Материальные затраты НИР	4 510	5190	Пункт 5.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	39000	195000	Пункт 5.3.2

3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	142176,36	512223,75	Пункт 5.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21326,46	76833,625	Пункт 5.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	49051,85	176717,25	Пункт 5.3.4
6	Накладные расходы	44056,43	160586,75	Пункт 5.3.5
Бюджет затрат НИР		264338,6	1049223,88	Сумма ст. 1- 6

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

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат двух разработанных алгоритмов. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносится финансовое значение.

В качестве аналога данной ВКР рассмотрен:

1) метод на основе ВКФ

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (5.4.1)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$$\Phi_{\text{тек.пр}} = 264338,6; \Phi_{\text{кон.пр}} = 1049223.88;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{264338.6}{1049223.88} = 0,25;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{кон.пр.}} = \frac{1049223.88}{1049223.88} = 1;$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по двум вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения ВКР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 5.17).

Таблица 5.17 – Сравнительная оценка характеристик конкурентов ВКР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Конкурирующий проект
1. Простота эксплуатации	0,2	8	8
2. Потребность в ресурсах памяти	0,12	7	6
3. Точность результатов	0,3	6	5
4. Предоставляемые возможности	0,28	6	8
5. Скорость работы	0,1	9	7
ИТОГО	1	6,82	6,48

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{\text{тек.пр.}} = 0,2 * 8 + 0,12 * 7 + 0,3 * 6 + 0,28 * 6 + 0,1 * 9 = 6,82;$$

$$I_{\text{кон.пр.}} = 0,2 * 8 + 0,12 * 6 + 0,3 * 5 + 0,28 * 8 + 0,1 * 7 = 6,48;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p-\text{исп.}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}}. \quad (5.4.2)$$

$$I_{\text{тек.пр.}} = \frac{6,82}{0,26} = 26,23;$$

$$I_{\text{кон.пр.}} = \frac{6,48}{1} = 6,48;$$

Далее интегральные показатели эффективности конкурента ВКР сравнивались с интегральными показателями эффективности других конкурентов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 5.18).

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.}i}}{I_{\text{исп.тек.пр.}}} \quad (5.4.3)$$

Таблица 5.18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Конкурирующий проект
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,25	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	6,82	6,48
3	Интегральный показатель эффективности	26,23	6,48
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,25

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых конкурентов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является текущий проект. Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выявление сильных и слабых сторон программного обеспечения относительно конкурентов.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 102 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 98 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 20 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 264338,6 руб.;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,25, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 6,82, по сравнению с 6,48;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 26,23, по сравнению с 6,48, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

6. Социальная ответственность

Введение

Объектом данной ВКР являются разработанные на ЭВМ алгоритмы фазочастотного прослеживания, применяющиеся для определения временного положения сейсмических сигналов. Методы оптимального определения используются на основе ФЧХ сигнала, что позволяет оценить найденное временное положение сигнала.

Работа выполняется на персональном компьютере (ПК), в виду чего в данном разделе проводится анализ опасных и вредных факторов, возникающих при работе с ПК, влияния этих факторов на окружающую среду и мероприятий по её защите.

Предметом исследования является рабочая зона разработчика, включая стол, ПК, клавиатуру, компьютерную мышь и стул. Работы выполнялись в условиях жилой комнаты общежития номер 17 ТПУ.

6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальная оценка условий труда является единым комплексом последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и (или) опасных факторов производственной среды и трудового процесса и оценке уровня их воздействия на работника с учетом отклонения их фактических значений от установленных уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти нормативов (гигиенических нормативов) условий труда и применения средств индивидуальной и коллективной защиты работников [28]. По результатам проведения специальной оценки условий труда устанавливаются классы (подклассы) условий труда. Согласно трудовому кодексу РФ [30] работникам высшей категории (офисные работники) предусматриваются:

1. Понятие рабочего времени. Нормальная продолжительность рабочего времени [ТК РФ Статья 91]: Для работников, условия труда на рабочих местах, которых по результатам специальной оценки условий труда

отнесены к оптимальным – нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю.

2. Обеспечение нормальных условий труда для выполнения норм выработки [ТК РФ Статья 193];

3. Предоставления работникам предусмотренных ТК РФ выходных и праздничных дней [ТК РФ г. 18], а также оплачиваемые отпуска [ТК РФ г. 19];

4. Установления работникам предусмотренных ТК РФ гарантий и компенсаций [ТК РФ г. 28].

Разработка алгоритмов происходит за компьютерным столом. Рабочее место разработчика должно быть организовано согласно требованиям, представленным в «Типовая инструкция по охране труда для пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в электроэнергетике» [29]:

1) При размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами, должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м;

2) Рабочие места с ПЭВМ в помещениях с источниками вредных производственных факторов должны размещаться в изолированных кабинах с организованным воздухообменом;

3) Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов;

4) Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики;

5) Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять

изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

При разработке алгоритмов определения временного положения было предоставлено рабочее место, где соблюдены все требования по организации труда с ЭВМ.

6.2. Производственная безопасность

В ходе разработки алгоритма определения временного положения сигналов и исследовательской части работы могут возникать различные вредные и опасные факторы, связанные с использованием ПЭВМ. Ниже в таблице 1 приведены наиболее возможные факторы воздействия, а также нормативные документы регулирующие данные факторы.

Таблица 1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ Р 58698-2019 «Защита от поражения электрическим током» [36]
Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [31]
Недостаточная освещённость рабочей зоны	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [32]
Повышенная световая и цветовая контрастность	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [32]
Повышенный уровень шума на рабочем месте	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [33] СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003» [34]
Перегрузка зрительного аппарата	РД 153-34.0-03.298-2001 «Типовая инструкция по охране труда для пользователей ПЭВМ в электроэнергетике» [35]

Исходя из представленных в таблице факторов, можно резюмировать что основными опасными и вредными факторами являются физические и психологические.

6.2.1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

Вследствие работы с электрооборудованием и компьютерами возникает вероятность прохождения электрического тока через тело человека. Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока проявляются в виде электротравм (судороги, остановка сердца, остановка дыхания, ожоги и др.) и заболеваний. Результат воздействия тока на человека зависит от величины силы тока, его рода и частоты, продолжительности воздействия и множества других факторов. Причиной поражения электрическим током в условиях лаборатории могут стать случайное прикосновение к токоведущим частям или появление напряжения на металлических частях оборудования.

Под электробезопасностью подразумевается система технических и организационных мероприятий, направленных на защиту людей от опасного воздействия электрического тока, статического электричества и электромагнитного поля. Значения вышеперечисленных факторов регулируются ГОСТ Р 58698-2019.

Таблица 7 – Пороги напряжения прикосновения для реагирования

Характер реагирования	Пороги напряжения, В
Реакция испуга	2 (переменный ток)
	8 (постоянный ток)
Мышечная реакция	20 (переменный ток)
	40 (постоянный ток)

Меры предосторожности для основной защиты от поражения электрическим током:

- использование защитных ограждений или оболочек;
- размещение опасных для жизни и здоровья человека участков электропроводов и приборов вне зоны досягаемости рукой;
- ограничение напряжения или питание должно осуществляться от безопасного источника питания;

– автоматическое отключение питания (защитное устройство, которое будет отключать систему, питающую электрическое оборудование в случае замыкания)

Защита от поражения электрическим током может осуществляться посредством системы безопасного сверхнизкого напряжения (БСНН) и защитного сверхнизкого напряжения (ЗСНН).

6.2.2. Отклонение показателей микроклимата

Отклонение показателей микроклимата на рабочем месте от комфортных непосредственно влияет на здоровье работников. Повышение скорости движения воздуха и понижение температуры может привести к переохлаждению организма путем усиления теплообмена и процесса теплоотдачи при испарении пота. Недостаточная влажность в свою очередь ведет к интенсивному испарению влаги со слизистых оболочек. Это может привести к пересыханию, растрескиванию и затем к заражению болезнетворными бактериями. При разработке алгоритма используются персональные компьютеры, которые могут непосредственно влиять на микроклимат путем снижения относительной влажности и повышению температуры в рабочем помещении.

Общие требования к микроклимату производственных помещений регламентируются СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Санитарные нормы регулируют оптимальные и допустимые значения показателей в рабочей зоне, соответствующие физиологическим потребностям организма человека, для создания комфортных и безопасных условий труда.

Работа, выполняемая командой разработки программного обеспечения, по энергозатратам относится к категории Ia (производится сидя, сопровождается незначительными физическими усилиями). В таблицах 2 и 3 представлены оптимальные и допустимые значения показателей микроклимата на рабочих местах для данной категории.

Таблица 2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	21-25	60-40	0,1
Тёплый	23-25	22-26	60-40	0,1

Таблица 3 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	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	20,0 – 21,9	24,1 – 25,0	19,0 – 26,0	15 – 75	0,1	0,1
Тёплый	21,0 – 22,9	25,1 – 28,0	20,0 – 29,0	15 – 75	0,1	0,1

В производственных помещениях, где поддерживать допускаемые нормативные величины локального микроклимата не представляется возможным, необходимо проводить мероприятия по защите работников от возможного перегрева и охлаждения. Это достигается разными способами: использование систем местного кондиционирования воздуха; регламентацией периодов работы в неблагоприятном локальном микроклимате и отдыха в помещении с микроклиматом, нормализующим тепловое состояние; уменьшение длительности рабочей смены и др.

6.2.3. Недостаточная освещённость рабочей зоны

Низкая освещенность рабочей зоны может негативно влиять на работоспособность сотрудников предприятия и приводить к утомляемости, а также проблемам со зрением при продолжительной работе в таких условиях.

Нормы естественного, искусственного и совместного освещения регламентируются стандартом СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Разработка программного обеспечения относится к работам высокой точности категории Б (наименьший или эквивалентный объект различения 0,30 – 0,50 мм) и под разрядом 1 (относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность не менее 70%). В таблице 4 приведены требования к освещению рабочего помещения для разряда Б1. Для улучшения условий освещения можно использовать различные методы, такие как естественное освещение, искусственное освещение и их сочетание.

Таблица 4 – Требования к освещению рабочего помещения

Искусственное освещение				Естественное освещение	
Освещенность на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк	Цилиндрическая освещенность	Объединенный показатель дискомфорта, не более	Коэффициент пульсации освещенности, Кп, %, не более	Коэффициент естественной освещенности, %, при	
				верхнем или комбинированном	боковом
300	100	21	15	3	1

Яркий свет, попадающий в периферийную зону зрения, может значительно напрягать глаза. Чтобы уменьшить негативное воздействие недостаточной освещенности, необходимо, чтобы уровень естественного освещения в рабочем пространстве был примерно одинаковым с яркостью дисплея. Для решения проблемы недостаточного освещения помещения можно использовать дополнительные источники света, а также увеличивать размеры оконных проемов.

6.2.4. Повышенная световая и цветовая контрастность

Нарушение светового и цветового контраста на рабочем месте может привести к быстрой усталости и ухудшению работоспособности сотрудников на предприятии, а длительное воздействие этого вредного фактора может

вызвать проблемы со зрением. Стандарты для светового и цветового контраста установлены в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Для работы с компьютерами (категория работ Б1) требования по контрасту представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Требования к освещению рабочего помещения

Характеристика зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона
Высокой точности	Малый	Средний
	Средний	Темный

Изменить световой и цветовой контраст можно путем настройки естественной и искусственной освещенности рабочего помещения или заменой оборудования (например, мониторов) на более качественное, что поможет уменьшить контраст.

6.2.5. Повышенный уровень шума на рабочем месте

Превышение уровня шума на рабочем месте создает психологический и физический стресс, снижающий производительность, концентрацию, внимание, повышает утомляемость. Повышение уровня шума на рабочем месте возможно из-за фона, создаваемого работой персональных компьютеров, наличия центральной системы вентиляции и кондиционирования воздуха.

Предельно допустимые показатели уровня звука, звукового давления регламентируются СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Для команды разработчиков программного обеспечения, эти показатели представлены в таблице 5.

Таблица 6 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука.

Назначение помещений и/или территорий	Для источников постоянного шума	Для источников непостоянного шума
---------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------

		Уровни звукового давления дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука корректированный по А, L _A , дБ	Эквивалентный корректированный по А уровень звука L _{Aэкв} , дБ	Максимальный корректированный по А уровень звука L _{Aмакс} , дБ
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000			
Помещения офисов, рабочие помещения и кабинеты административных зданий, научно-исследовательских организаций	-	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50	65

Для снижения уровня шума в производственном помещении можно использовать защитные звукопоглощающие экраны. Для любого оборудования необходимо регулярно проводить техническое обслуживание, так как загрязнение может увеличить производимый шум.

6.2.6. Перегрузка зрительного аппарата

РД 153-34.0-03.298-2001 описывает взаимные требования к расположению оператора и дисплея, а также возможные заболевания, вызванные нарушением регламентируемых требований. Работа за компьютером требует высокой зрительной сосредоточенности, что приводит к перенапряжению глазных мышц. Долгое непрерывное время работы за компьютером является следствием таких заболеваний, как спазм аккомодации, снижение остроты зрения, уменьшение запаса относительной аккомодации и близорукость. Тяжесть представленных заболеваний напрямую зависит от расстояния между монитором и зрительным аппаратом человека. Рекомендуется, чтобы это расстояние составляло 600-700 мм, и не было менее чем 500 мм. Кроме того, во время работы за компьютером

рекомендуется делать перерывы. Перерывы следует делать не менее чем каждые 2 часа работы за компьютером [35].

6.3. Экологическая безопасность

Программное обеспечение не оказывает влияния на окружающую среду, так как его разработка и использование происходит при помощи персональных компьютеров, однако использование самого компьютера может оказывать влияние на окружающую среду. Так в случаях нагрева материнской платы и корпуса монитора происходит выброс в воздух вредных веществ.

В производстве компьютеров и их комплектующих используются материалы, которые при неправильной утилизации компьютерной техники могут стать причиной загрязнения литосферы. Утилизировать компьютер необходимо после извлечения его компонент, их сортировки и отправки на повторное использование, это необходимо делать на специально отведённых полигонах с присутствием квалифицированного персонала. Стоит также учитывать, что в технологических процессах производства компьютеров и их комплектующих образуются производственные сточные воды, которые могут являться фактором загрязнения гидросферы.

Соблюдение всех норм при использовании и утилизации компьютерной техники позволяет уменьшить вредное воздействие на окружающую среду.

Основной проблемой охраны окружающей среды в компьютерных лабораториях является утилизация люминесцентных ламп. Все люминесцентные лампы содержат ртуть (в дозах от 1 до 70 мг), ядовитое вещество 1-го класса опасности. Такая доза может причинить вред здоровью при повреждении лампы. Хранение и удаление отходов (в данном случае - люминесцентных ламп) осуществляются в соответствии с требованиями Постановления Правительства Российской Федерации от 28.12.2020 № 2314 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор,

накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде» [39]. Наполненную тару с отходами закрывают герметически стальной крышкой, при необходимости заваривают и передают по договору специализированным предприятиям, имеющим лицензию на их утилизацию.

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожар

Причинами возникновения пожара при работе с ЭВМ может служить короткое замыкание проводки, в том числе в следствии неисправности прибора, сильный перегрев ЭВМ в результате его использования в режиме повышенной нагрузки.

Для предотвращения возникновения пожара, необходимо проводить периодическую своевременную диагностику оборудования и электрической проводки, соблюдать нормы при работе с ЭВМ, обеспечить наличие средств пожаротушения в рабочем помещении, готовых к эксплуатации. Здание, в котором находится помещение с ЭВМ, тоже должно отвечать требованиям пожарной безопасности, для этого необходимо наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, углекислотных огнетушителей с проверенным клеймом, табличек с указанием направления к эвакуационному выходу. При появлении возгорания необходимо сообщить в службу пожарной охраны адрес и место возникновения пожара.

По СП 12.13130.2009 [37] рабочее место разработчика относится к категории «В», (пожароопасные), потому что в данном помещении присутствует пыль, вещества и материалы, способные при взаимодействии с воздухом гореть.

В здании, в котором проводится расположено рабочее место имеются такие средства пожаротушения, как огнетушители, существует противопожарная сигнализация, датчики дыма, имеются ответственные за противопожарную безопасность люди, имеется план эвакуации.

Вывод раздела

В данном разделе были рассмотрены правовые и организационные вопросы безопасности при работе и компоновке рабочего места.

Рабочее место, удовлетворяет всем требованиям безопасности. Требуемое освещение обеспечивается за счет нескольких энергосберегающих ламп. Уровень шума находится в допустимом диапазоне. Микроклиматические условия соблюдаются за счет системы отопления в холодное время и проветривания в теплое время. Для предотвращения влияния монотонности производиться перерывы и легкая разминка. Защита от воздействия электрического тока обеспечивается путем проверки состояния ПК и соблюдения правил безопасности при работе с ним. Помещение имеет все необходимые компоненты для обеспечения пожарной безопасности.

Согласно ПУЭ, рабочее место относится к 1 категории по электробезопасности: помещения без повышенной опасности.

Для работы в офисе персоналу присваивается 1 группа по электробезопасности.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 работа разработчика относится к категории 1б, так как разработчик проводит большую часть времени за компьютером, передвигается из кабинета в кабинет или по коридору.

Согласно СП 12.13130.2009 рабочее место разработчика относится к категории «В», (пожароопасные), так как в данном помещении присутствует вещества и материалы, способные при взаимодействии с воздухом гореть.

Согласно Постановлению от 31 декабря 2020 года №2398 [38] категория объекта, в данном случае ПЭВМ, оказывающего негативное воздействие на окружающую среду, является 4.

Также были затронуты темы экологической безопасности, уменьшение вредного влияния на окружающую среду и человека, и безопасности в чрезвычайных ситуациях, правил поведения людей в чрезвычайных ситуациях и превентивных мер по их предупреждению.

Заключение

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Основным информативным параметром для оценки временного положения отражающих границ является фазочастотная характеристика сейсмических сигналов
2. На основе оптимальной и субоптимальной обработки ФЧХ разработаны алгоритмы определения временного положения сигнала с равновесной и неравновесной обработкой.
3. При наличии дисперсии геологической среды предложен и разработан алгоритмы определения временного положения сигнала на основе оптимальной и субоптимальной обработки функций группового запаздывания.
4. Путем вычислительного эксперимента проведены исследования эффективности разработанных алгоритмов на модели сейсмической трассы.
5. Показано, что в условиях, когда форма сигнала неизвестна, данные алгоритмы обеспечивают точность определения временного положения сигнала, достаточную для корреляции волн.
6. Приведен пример применения алгоритмов для обработки реальных данных.

Литература

1. Авербух А.Г. Изучение состава и свойств горных пород при сейсморазведке. – М.: Недра, 1982. – 232с., ил.
2. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсморазведка. Учебник для вузов. –Тверь: Изд-во АИС, 2006. -744 с.
3. Саваренский Е.Ф. Сейсмические волны. – М.: Недра, 1972 – 296 с.
4. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. -М.: Радио и связь, 1981.-416 с.
5. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Сов. Радио, 1975. – кн.2. – 392с.
6. Кутыина О.Г. Построение статистических алгоритмов обработки и интерпретации сейсмических данных. – М.: Недра, 1982.- 165с.
7. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. -М.: Радио и связь, 1981.-416 с.
8. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М.: Сов. Радио, 1966.-677с.
9. Яновский А.К. Использование функций взаимной корреляции сейсмических трасс для увязки сейсмических наблюдений.- В кн.: Дискретная корреляция сейсмических волн. Новосибирск: Наука, 1971, с.50-72.
10. Mohamed Mhmod, Feng Xuan, Xu Cong. Parameters effects on spiking deconvolution of land seismic data // Global Geology. – 2015. – V. 18 (4). – P. 226–231.
11. Романов В.В. Возможности повышения разрешенности сейсмограмм метода преломленных волн (МПВ) // Технологии сейсморазведки. – 2013. – № 4. – С. 67–73.

12. Станкевич Л.С. Обработка сейсмических разрезов методом динамического сжатия // Геофизика, геофизическое приборостроение. – 2015. – № 1 (21). – С. 78–85.
13. Митрофанов Г.М. Гомоморфная фильтрация и слепая деконволюция // Технологии сейсморазведки. – 2015. – № 1. – С. 46–56.
14. Egbai J.C., Atakpo E., Aigbogun C.O. Predictive deconvolution in seismic data processing in Atala prospect of rivers State, Nigeria // Advances in Applied Science Research. – 2012. – V. 3 (1). – P. 520–529.
15. Сильвия М.Т., Робинсон Э.А. Обратная фильтрация геофизических временных рядов при разведке на нефть и газ. – М.: Недра, 1983. – 382 с.
16. Lindberg D.V., More H. Blind Categorical Deconvolution in Two-Level Hidden Markov Models // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2014. – V. 52. – P. 7435–7447.
17. Idan Ram, Israel Cohen. Multichannel Deconvolution of Seismic Signals Using Statistical MCMC Methods // IEEE Transactions on signal processing. – 2010. – V. 58. – № 5. – P. 2757–2770.
18. Deconvolution of Seismic Signals in Time and Frequency Domain / Kedarnath Senapati, Aurobinda Routray, Santosh Dhubia, William Kumar Mohanty // International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition processing and Pattern Recognition. – 2011. – V. 4. – № 1. – P. 29–47.
19. Optimal Seismic Deconvolution: Distributed Algorithms / K.N. Plataniotis, S.K. Katsikas, D.G. Lainiotis, A.N. Venetsanopoulos // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 1998. – V. 36. – P. 779–792.
20. Veeken P.C.H., Da Silva M. Seismic inversion methods and some of their constraints // First break. – 2004. – V. 22. – P. 47–70.
21. Kazemi N., Bongajum E., Sacchi M. Surface-Consistent Sparse Multichannel Blind Deconvolution of Seismic Signals // IEEE Transactions on geoscience and remote sensing. – 2016. – V. 54. – P. 3200–3207.

22. Поиск, обнаружение и измерение параметров сигналов в радионавигационных системах/ Под ред. Ю.М. Казаринова. – М.: Сов. Радио, 1975.-296 с.
23. Иванченков В.П., Кочегуров А.И., Орлов О.В. О точности определения временного положения сейсмических сигналов по оценкам их фазочастотных характеристик //Известия Томского политехнического университета. Известия Томского политехнического университета, 2009 - т. 315, - № 5. - с. 49-53.
24. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. – М.: Мир, 1982. -428с.
25. Гольдин С.В. Смещение нулей и экстремумов сейсмических сигналов под воздействием помех. – Геология и геофизика, 1964, №10, с. 130-144.
26. Худяков Г.И. О потенциальной точности определения временного положения флюктуирующих сигналов. - Вопросы радиоэлектроники. Общие вопросы радиоэлектроники, 1984, вып.8, с. 55-60.
27. Грибанов Ю.И., Мальков В.Л. Спектральный анализ случайных процессов, - М.: Энергия, 1974. – 240с.
28. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913> (дата обращения: 28.05.2023);
29. РД 153-34.0-03.298-2001 Типовая инструкция по охране труда для пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в электроэнергетике // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200031404> (дата обращения: 28.05.2023);
30. Трудовой кодекс (ТК РФ) «Рабочее время» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный

ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12125268/> (дата обращения: 20.04.2023).

31. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. 2021. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 28.05.2023).

32. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 20.05.2023).

33. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум. Общие требования безопасности» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606> (дата обращения: 12.05.2023);

34. СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097> (дата обращения: 5.05.2023).

35. РД 153-34.0-03.298-2001 «Типовая инструкция по охране труда для пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в электроэнергетике» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200031404> (дата обращения: 20.05.2023)

36. ГОСТ Р 58698-2019 «Защита от поражения электрическим током» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200170001> (дата обращения: 28.05.2023).

37. СП 12.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения: 28.05.2023).

38. Постановлению от 31 декабря 2020 года №2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573292854> (дата обращения: 20.05.2023).

39. Постановление Правительства Российской Федерации от 28.12.2020 № 2314 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573275660> (дата обращения: 20.05.2023).

Приложение 1

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.stats import norm

def useful_signal(A0, b, w0, v0, t): #функция описывающая сигнала
    return A0 * np.exp(-np.power(b*t, 2)) * np.cos(w0*t + v0)

def noise_interference(n, m=0, sigma=1): #функция описывающая шум
    return norm.rvs(loc=m, scale=sigma, size=n)

def B(phi_r, phi_r_minus_1): #выравнивание фаз
    diff = phi_r - phi_r_minus_1
    if (diff <= -np.pi/2):
        return np.pi
    if (diff >= np.pi/2):
        return -np.pi
    return 0

def phi(phi_r):
    k = phi_r.size
    phi_calc = np.zeros_like(phi_r)

    phi_calc[0] = phi_r[0]
    for i in range(1, k):
        phi_calc[i] = phi_calc[i-1] + (phi_r[i] - phi_r[i-1]) +
B(phi_r[i], phi_r[i-1])
    return phi_calc

def main(sigma): # нахождение среднего значения максимума функции
    правдоподобия при наличии шума с sigma=1
    results = [] # создаем пустой список для результатов
    max_vals = []
    phi_arr_list = []
    for i in range(100):
# Задаём переменные
        dt = 0.002;
        A0 = 1;
        w0 = 40*np.pi;
        t0 = -0.06;
        t1 = 0.06
        t = np.arange(t0, t1, dt)
        N = t.size

        f = np.fft.fftfreq(N, d=dt)

        s = useful_signal(A0, 60, w0, 0, t)
        n = noise_interference(N, 0, sigma)
        x = s + n
        correlation = np.correlate(s, n, mode='same')
```



```

#Задаём и движем окно по сигналу
window_size = 31
kN = 40 # число шагов для цикла
dw = 2*np.pi
m = N - window_size # число шагов для передвижения окна
tau = dt * np.arange(m)
L = np.zeros(m) # массив для функции правдоподобия
phi_arr = [] #массив фаз
new_t = np.linspace(-0.03, 0.03, window_size)

for j in range(m):
    A = np.zeros(kN)
    B = np.zeros(kN)
    phi_r = np.zeros(kN)
    Ampl = np.zeros(kN)
    w = np.zeros(kN)
    for k in range(kN): # цикл для нахождения преобразования фурье в
        #каждом окне
            for i in range(window_size):
                w[k] = w0 + k*dw
                A[k] += x[i+j] * np.cos((w0+k*dw)*new_t[i])
                B[k] += x[i+j] * np.sin((w0+k*dw)*new_t[i])
            Ampl[k] = np.sqrt(np.power(A[k], 2) + np.power(B[k], 2))
            phi_r[k] = -np.arctan(B[k] / A[k]) #фазовый спектр
        phi_calc = phi(phi_r)
        phi_arr += [phi_calc]
        L[j] = np.sum(np.cos(phi_calc))

    phi_arr_list.append(phi_calc) # сохраняем фазовый спектр в список
    results.append(np.argmax(L))
average_result = np.mean(results) # вычисление среднего значения

# находим взаимную корреляционную функцию
corr = np.correlate(x[j:j+window_size], x[j:j+window_size], mode='same')
max_vals.append(np.argmax(corr)) # сохраняем значение максимума в список

# Вычисляем максимальное значение массива
max_val = np.argmax(L)
# Вычисляем дисперсию
variance = np.var(results)
print("Дисперсия при наложении шума с sigma = " + str(sigma) + ":",
variance)
print("Среднее значение положения максимума правдоподобия при наложении
шума с sigma = " + str(sigma) + ":", average_result)
print("-----")
print("-----")

sigmelist = [0, 0.2, 0.3, 0.5, 1]
for sigma in sigmelist:
    main(sigma)

```

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

Dispers=[0,12.92,23.20,27.65,48.98]
Sigma=[0,0.2,0.3,0.5,1]
MathO=[15,14.24,14.48,14.87,15.12]

# Вычисляем доверительные интервалы
conf_int_dispers = 1.96 * np.array(Dispers) / np.sqrt(5)
conf_int_matho = 1.96 * np.array(MathO) / np.sqrt(5)

# Строим графики
plt.plot(Sigma, Dispers, 'o-', label='Дисперсия')
plt.plot(Sigma, MathO, 'o-', label='Мат. ожидание')

# Добавляем доверительные интервалы
plt.fill_between(Sigma, Dispers - conf_int_dispers, Dispers +
conf_int_dispers, alpha=0.2)
plt.fill_between(Sigma, MathO - conf_int_matho, MathO + conf_int_matho,
alpha=0.2)

# Настраиваем оси и легенду
plt.xlabel('Sigma')
plt.title("Зависимость мат.ожидания и дисперсии от средквadraticного
отклонения для Функции правдоподобия")
plt.ylabel('Значение')
plt.legend()

# Отображаем график
plt.show()

```

Приложение 2

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.stats import norm

def useful_signal(A0, b, w0, v0, t): #функция описывающая сигнала
    return A0 * np.exp(-np.power(b*t, 2)) * np.cos(w0*t + v0)

def noise_interference(n, m=0, sigma=1): #функция описывающая шум
    return norm.rvs(loc=m, scale=sigma, size=n)

def B(phi_r, phi_r_minus_1): #выравнивание фаз
    diff = phi_r - phi_r_minus_1
    if (diff <= -np.pi/2):
        return np.pi
    if (diff >= np.pi/2):
        return -np.pi
    return 0

```

```

def phi(phi_r):
    k = phi_r.size
    phi_calc = np.zeros_like(phi_r)

    phi_calc[0] = phi_r[0]
    for i in range(1, k):
        phi_calc[i] = phi_calc[i-1] + (phi_r[i] - phi_r[i-1]) +
B(phi_r[i], phi_r[i-1])
    return phi_calc

def get_phase_arctan(a, b):
    phase = -np.arctan(b / a)
    return phase

def get_phase_new_method(params):
    phase = 0
    return phase

def main(sigma): # нахождение среднего значения максимума функции
правдоподобия при наличии шума с sigma=1
    results = [] # создаем пустой список для результатов
    max_vals = []
    phi_arr_list = []
    for i in range(10):
# Задаём переменные
        dt = 0.002;
        A0 = 1;
        w0 = 40*np.pi;
        t0 = -0.06;
        t1 = 0.06
        t = np.arange(t0, t1, dt)
        N = t.size

        f = np.fft.fftfreq(N, d=dt)

        s = useful_signal(A0, 60, w0, 0, t)
        n = noise_interference(N, 0, sigma)
        x = s + n
        correlation = np.correlate(s, n, mode='same')
#Задаём и движем окно по сигналу
        window_size = 31
        kN = 40 # число шагов для цикла
        dw = 2*np.pi
        m = N - window_size # число шагов для передвижения окна
        tau = dt * np.arange(m)
        L = np.zeros(m) # массив для функции правдоподобия
        phi_arr = [] #массив фаз
        new_t = np.linspace(-0.03, 0.03, window_size)

        for j in range(m):

```

```

A = np.zeros(kN)
B = np.zeros(kN)
phi_r = np.zeros(kN)
Ampl = np.zeros(kN)
w = np.zeros(kN)
for k in range(kN): # цикл для нахождения ФГЗ в каждом окне
    for i in range(window_size):
        w[k] = w0 + k*dw
        A_w = (B[k]*np.gradient(A, w[k]) - A[k]*np.gradient(B,
w[k])) / (A[k]**2 + B[k]**2)
        B_w = (A[k]*np.gradient(B, w[k]) - B[k]*np.gradient(A,
w[k])) / (A[k]**2 + B[k]**2)
        A[k] += x[i+j] * np.cos((w0+k*dw)*new_t[i])
        B[k] += x[i+j] * np.sin((w0+k*dw)*new_t[i])
        Ampl[k] = np.sqrt(np.power(A[k], 2) + np.power(B[k], 2))
        phi_r[k] = get_phase_arctan(A[k], B[k]) #фазовый спектр
    phi_calc = phi(phi_r)
    phi_arr += [phi_calc]
    L[j] = np.sum(np.cos(phi_calc))

    phi_arr_list.append(phi_calc) # сохраняем фазовый спектр в список
    results.append(np.argmax(L))
    average_result = np.mean(results) # вычисление среднего значения

    # находим взаимную корреляционную функцию
    corr = np.correlate(x[j:j+window_size], x[j:j+window_size], mode='same')
    max_vals.append(np.argmax(corr)) # сохраняем значение максимума в список
    # Вычисляем максимальное значение массива
    max_val = np.argmax(L)
    # Вычисляем дисперсию
    variance = np.var(results)
    print("Дисперсия при наложении шума с sigma = " + str(sigma) + ":",
variance)
    print("Среднее значение положения максимума ФГЗ при наложении шума с
sigma = " + str(sigma) + ":", average_result)
    print("-----")
    print("-----")

sigmelist = [0, 0.2, 0.3, 0.5, 1]
for sigma in sigmelist:
    main(sigma)
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

Dispers=[0, 8, 35.25, 18.95, 25.25]
Sigma=[0, 0.2, 0.3, 0.5, 1]
MathO=[15, 14.0, 11.5, 15.2, 14.5]

# Вычисляем доверительные интервалы
conf_int_dispers = 1.96 * np.array(Dispers) / np.sqrt(5)
conf_int_matho = 1.96 * np.array(MathO) / np.sqrt(5)

```

```

# Строим графики
plt.plot(Sigma, Dispers, 'o-', label='Дисперсия')
plt.plot(Sigma, MathO, 'o-', label='Мат. ожидание')

# Добавляем доверительные интервалы
plt.fill_between(Sigma, Dispers - conf_int_dispers, Dispers +
conf_int_dispers, alpha=0.2)
plt.fill_between(Sigma, MathO - conf_int_matho, MathO + conf_int_matho,
alpha=0.2)

# Настраиваем оси и легенду
plt.xlabel('Sigma')
plt.title("Зависимость дисперсии и мат.ожидания от средквadraticного
отклонения для ФГЗ")
plt.ylabel('Значение')
plt.legend()

# Отображаем график
plt.show()

```

Приложение 3

```

import numpy as np
from scipy.stats import norm
import matplotlib.pyplot as plt
class signalParameters():
    A0 = 1
    b = 40
    w0 = 40 * np.pi
    v0 = 0
def signal_function(t, A0, b, w0, v0):
    return A0 * np.exp(-np.power(b * t, 2)) * np.cos(w0 * t + v0)
def noise_function(n, m=0, sigma=1):
    return norm.rvs(loc=m, scale=sigma, size=n)
def do_experiment(sigma, A0, b, w0, v0):
    time_array_31 = np.linspace(-0.03, 0.03, 31)
    time_array_60 = np.linspace(-0.06, 0.06, 60)
    useful_signal_31 = signal_function(time_array_31, A0, b, w0, v0)
    useful_signal_60 = signal_function(time_array_60, A0, b, w0, v0)
    noise_60 = noise_function(time_array_60.size, 0, sigma)
    additive_signal = useful_signal_60 + noise_60

    max_values = []
    window_size = time_array_31.size
    for window_begin in range(0, additive_signal.size - window_size + 1):
        window_end = window_begin + window_size
        window = additive_signal[window_begin : window_end]
        cross_correlation = np.correlate(window, useful_signal_31,
mode='same')

```

```

        max_values += [np.max(cross_correlation)]

    return np.argmax(max_values)
sigma_values = [0, 0.2, 0.3, 0.5, 1]
experiments_number = 100
signal = signalParameters()

mean_values = []
variance_values = []

for sigma in sigma_values:
    max_values = []
    for n in range(experiments_number):
        max_value = do_experiment(sigma, signal.A0, signal.b, signal.w0,
signal.v0)
        max_values += [max_value]
    mean_values += [np.mean(max_values)]
    variance_values += [np.var(max_values)]

plt.title("Зависимость мат.ожидания и дисперсии от среднеквадратичного
отклонения для ВКФ")
plt.xlabel("sigma")
plt.plot(sigma_values, mean_values, label='значения мат.ожидания')
plt.plot(sigma_values, variance_values, label='значения дисперсии')
plt.legend(fontsize=10)
plt.tight_layout()
plt.show()

```

Приложение 4

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.stats import norm

def useful_signal(A0, b, w0, v0, t): #функция описывающая сигнала
    return A0 * np.exp(-np.power(b*t, 2)) * np.cos(w0*t + v0)

def noise_interference(n, m=0, sigma=1): #функция описывающая шум
    return norm.rvs(loc=m, scale=sigma, size=n)

def B(phi_r, phi_r_minus_1): #выравнивание фаз
    diff = phi_r - phi_r_minus_1
    if (diff <= -np.pi/2):
        return np.pi
    if (diff >= np.pi/2):
        return -np.pi
    return 0

def phi(phi_r):
    triangular_weight = np.zeros_like(phi_r)

```

```

fh = 0.15
fc = 0.4
fb = 0.65
for i in range(len(phi_r)):
    fk = i / len(phi_r)
    if fk < fh:
        triangular_weight[i] = 0
    elif fh <= fk <= fc:
        triangular_weight[i] = 2 * (fk - fh) / (fc - fh)
    elif fc < fk <= fb:
        triangular_weight[i] = 1 - (fk - fc) / (fb - fc)
    else:
        triangular_weight[i] = 0
return np.convolve(phi_r, triangular_weight, mode='same')

def main(sigma): # нахождение среднего значения максимума функции
    # правдоподобия при наличии шума с sigma=1
    results = [] # создаем пустой список для результатов
    max_vals = []
    phi_arr_list = []
    for i in range(100):
        # Задаём переменные
        dt = 0.002;
        A0 = 1;
        w0 = 40*np.pi;
        t0 = -0.06;
        t1 = 0.06
        t = np.arange(t0, t1, dt)
        N = t.size

        f = np.fft.fftfreq(N, d=dt)

        s = useful_signal(A0, 60, w0, 0, t)
        n = noise_interference(N, 0, sigma)
        x = s + n
        correlation = np.correlate(s, n, mode='same')
    #Задаём и движем окно по сигналу
    window_size = 31
    kN = 40 # число шагов для цикла
    dw = 2*np.pi
    m = N - window_size # число шагов для передвижения окна
    tau = dt * np.arange(m)
    L = np.zeros(m) # массив для функции правдоподобия
    phi_arr = [] #массив фаз
    new_t = np.linspace(-0.03, 0.03, window_size)

    for j in range(m):
        A = np.zeros(kN)
        B = np.zeros(kN)
        phi_r = np.zeros(kN)
        Ampl = np.zeros(kN)

```

```

        w = np.zeros(kN)
        for k in range(kN): # цикл для нахождения преобразования фурье в
каждом окне
            for i in range(window_size):
                w[k] = w0 + k*dw
                A[k] += x[i+j] * np.cos((w0+k*dw)*new_t[i])
                B[k] += x[i+j] * np.sin((w0+k*dw)*new_t[i])
                Ampl[k] = np.sqrt(np.power(A[k], 2) + np.power(B[k], 2))
                phi_r[k] = -np.arctan(B[k] / A[k]) #фазовый спектр
            phi_calc = phi(phi_r)
            phi_arr += [phi_calc]
            L[j] = np.sum(np.cos(phi_calc))

            phi_arr_list.append(phi_calc) # сохраняем фазовый спектр в список
            results.append(np.argmax(L))
            average_result = np.mean(results) # вычисление среднего значения

            # находим взаимную корреляционную функцию
            corr = np.correlate(x[j:j+window_size], x[j:j+window_size], mode='same')
            max_vals.append(np.argmax(corr)) # сохраняем значение максимума в список

            # Вычисляем максимальное значение массива
            max_val = np.argmax(L)

            # Вычисляем дисперсию
            variance = np.var(results)
            print("Дисперсия при наложении шума с sigma = " + str(sigma) + ":",
variance)
            print("Среднее значение положения максимума правдоподобия при наложении
шума с sigma = " + str(sigma) + ":", average_result)
            print("-----")
            print("-----")

sigmlist = [0, 0.2, 0.3, 0.5, 1]
for sigma in sigmlist:
    main(sigma)
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

Dispers=[0,50.72,52.31,58.87,66.44]
Sigma=[0,0.2,0.3,0.5,1]
MathO=[15,13.91,15.69,13.96,13.93]

# Вычисляем доверительные интервалы
conf_int_dispers = 1.96 * np.array(Dispers) / np.sqrt(5)
conf_int_matho = 1.96 * np.array(MathO) / np.sqrt(5)

# Строим графики
plt.plot(Sigma, Dispers, 'o-', label='Дисперсия')
plt.plot(Sigma, MathO, 'o-', label='Мат. ожидание')

# Добавляем доверительные интервалы

```



```

plt.fill_between(Sigma, Dispers - conf_int_dispers, Dispers +
conf_int_dispers, alpha=0.2)
plt.fill_between(Sigma, MathO - conf_int_matho, MathO + conf_int_matho,
alpha=0.2)

# Настраиваем оси и легенду
plt.xlabel('Sigma')
plt.title("Зависимость дисперсии и мат.ожидания от сред.кв. отклонения
для функ.правдоподобия с весовой функ.")
plt.ylabel('Значение')
plt.legend()

# Отображаем график
plt.show()

```

Приложение 5

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.stats import norm

def useful_signal(A0, b, w0, v0, t): #функция описывающая сигнала
    return A0 * np.exp(-np.power(b*t, 2)) * np.cos(w0*t + v0)

def noise_interference(n, m=0, sigma=1): #функция описывающая шум
    return norm.rvs(loc=m, scale=sigma, size=n)

def B(phi_r, phi_r_minus_1): #выравнивание фаз
    diff = phi_r - phi_r_minus_1
    if (diff <= -np.pi/2):
        return np.pi
    if (diff >= np.pi/2):
        return -np.pi
    return 0

def phi(phi_r):
    triangular_weight = np.zeros_like(phi_r)
    fh = 0.15
    fc = 0.4
    fb = 0.65
    for i in range(len(phi_r)):
        fk = i / len(phi_r)
        if fk < fh:
            triangular_weight[i] = 0
        elif fh <= fk <= fc:
            triangular_weight[i] = 2 * (fk - fh) / (fc - fh)
        elif fc < fk <= fb:
            triangular_weight[i] = 1 - (fk - fc) / (fb - fc)
        else:
            triangular_weight[i] = 0

```

```

    return np.convolve(phi_r, triangular_weight, mode='same')

def get_phase_arctan(a, b):
    phase = -np.arctan(b / a)
    return phase

def get_phase_new_method(params):
    phase = 0
    return phase

def main(sigma): # нахождение среднего значения максимума функции
                  # правдоподобия при наличии шума с sigma=1
    results = [] # создаем пустой список для результатов
    max_vals = []
    phi_arr_list = []
    for i in range(10):
# Задаём переменные
        dt = 0.002;
        A0 = 1;
        w0 = 40*np.pi;
        t0 = -0.06;
        t1 = 0.06
        t = np.arange(t0, t1, dt)
        N = t.size

        f = np.fft.fftfreq(N, d=dt)

        s = useful_signal(A0, 60, w0, 0, t)
        n = noise_interference(N, 0, sigma)
        x = s + n
        correlation = np.correlate(s, n, mode='same')
#Задаём и движем окно по сигналу
        window_size = 31
        kN = 40 # число шагов для цикла
        dw = 2*np.pi
        m = N - window_size # число шагов для передвижения окна
        tau = dt * np.arange(m)
        L = np.zeros(m) # массив для функции правдоподобия
        phi_arr = [] #массив фаз
        new_t = np.linspace(-0.03, 0.03, window_size)

        for j in range(m):
            A = np.zeros(kN)
            B = np.zeros(kN)
            phi_r = np.zeros(kN)
            Ampl = np.zeros(kN)
            w = np.zeros(kN)
            for k in range(kN): # цикл для нахождения ФГЗ в каждом окне
                for i in range(window_size):
                    w[k] = w0 + k*dw

```

```

        A_w = (B[k]*np.gradient(A, w[k]) - A[k]*np.gradient(B,
w[k])) / (A[k]**2 + B[k]**2)
        B_w = (A[k]*np.gradient(B, w[k]) - B[k]*np.gradient(A,
w[k])) / (A[k]**2 + B[k]**2)
        A[k] += x[i+j] * np.cos((w0+k*dw)*new_t[i])
        B[k] += x[i+j] * np.sin((w0+k*dw)*new_t[i])
        Ampl[k] = np.sqrt(np.power(A[k], 2) + np.power(B[k], 2))
        phi_r[k] = get_phase_arctan(A[k], B[k]) #фазовый спектр
    phi_calc = phi(phi_r)
    phi_arr += [phi_calc]
    L[j] = np.sum(np.cos(phi_calc))

    phi_arr_list.append(phi_calc) # сохраняем фазовый спектр в список
    results.append(np.argmax(L))
    average_result = np.mean(results) # вычисление среднего значения

    # находим взаимную корреляционную функцию
    corr = np.correlate(x[j:j+window_size], x[j:j+window_size], mode='same')
    max_vals.append(np.argmax(corr)) # сохраняем значение максимума в список
    # Вычисляем максимальное значение массива
    max_val = np.argmax(L)
    # Вычисляем дисперсию
    variance = np.var(results)
    print("Дисперсия при наложении шума с sigma = " + str(sigma) + ":",
variance)
    print("Среднее значение положения максимума правдоподобия при наложении
шума с sigma = " + str(sigma) + ":", average_result)
    print("-----")
    print("-----")

sigmlist = [0, 0.2, 0.3, 0.5, 1]
for sigma in sigmlist:
    main(sigma)
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

Dispers=[0, 51.6, 34.8, 45.08, 40.56]
Sigma=[0, 0.2, 0.3, 0.5, 1]
MathO=[15, 13.0, 11.3, 17.1, 13.2]

# Вычисляем доверительные интервалы
conf_int_dispers = 1.96 * np.array(Dispers) / np.sqrt(5)
conf_int_matho = 1.96 * np.array(MathO) / np.sqrt(5)

# Строим графики
plt.plot(Sigma, Dispers, 'o-', label='Дисперсия')
plt.plot(Sigma, MathO, 'o-', label='Мат. ожидание')

# Добавляем доверительные интервалы
plt.fill_between(Sigma, Dispers - conf_int_dispers, Dispers +
conf_int_dispers, alpha=0.2)

```

```

plt.fill_between(Sigma, MathO - conf_int_matho, MathO + conf_int_matho,
alpha=0.2)

# Настраиваем оси и легенду
plt.xlabel('Sigma')
plt.title("Зависимость дисперсии и мат.ожидания от сред.кв. отклонения для
ФГЗ с Весовой фун.")
plt.ylabel('Значение')
plt.legend()

# Отображаем график
plt.show()

```