

Школа: Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки: 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Отделение школы (НОЦ): Экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование алгоритма деконволюции на основе анализа фазовых спектров сейсмических волн

УДК 004.932.4:550.344

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0В8Б	Бальжанов Юрий Борисович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	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 ОСГН ШБИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
01.03.02 «Прикладная математика и информатика»	Крицкий Олег Леонидович	к.ф.-м.н. доцент		

Томск – 2022 г.

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 (специальность) 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
0В8Б	Бальжанов Юрий Борисович

Тема работы:

Исследование алгоритма деконволюции на основе анализа фазовых спектров сейсмических волн

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---------------------------------------------	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
------------------------------------------	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Синтез цифровых обратных фильтров сжатия по литературным источникам 2. Существующие алгоритмы деконволюции сейсмических волн по литературным источникам 3. Описание метода фазочастотного прослеживания сейсмических волн по литературным источникам
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, проектирования, содержания процедуры исследования, проектирования, проектирования, проектирования, проектирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Построение математической модели одиночной сейсмотрассы 2. Разработка алгоритма деконволюции на основе анализа фазовых спектров сейсмических волн 3. Написание программы по разработанному алгоритму. 4. Исследование помехоустойчивости и разрешенности алгоритма на построенной модели 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6. Социальная ответственность
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Блок-схема алгоритма фазочастотной деконволюции</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Меньшикова Екатерина Валентиновна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сечин Андрей Александрович</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент ОИТ ИШИТР</p>	<p>Кочегуров Александр Иванович</p>	<p>Кандидат технических наук, доцент</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>0В8А</p>	<p>Бальжанов Юрий Борисович</p>		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0В8Б	Бальжанов Юрию Борисовичу

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение школы (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>	Бюджет – 251 189,4372 руб. Затраты на заработную плату – 166 516,2 руб. Прочие расходы – 472,17 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Тариф на электроэнергию 5,8 кВт/ч
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Налог во внебюджетные фонды 27,1 Районный коэффициент – 1,3 Накладные расходы – 16%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	Оценка потенциальных потребителей исследования, SWOT – анализ,
2. <i>Формирование плана и бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	Планирование этапов работ, определение трудоемкости и построение календарного графика, формирование бюджета.
3. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i>	Оценка сравнительной эффективности исследования. Интегральный показатель ресурсоэффективности – 3,75 Интегральный показатель эффективности – 4,52 Сравнительная эффективность проекта – 1,7

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. <i>Оценка конкурентоспособности НТИ</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>График разработки</i>
4. <i>Бюджет НТИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0В8Б	Бальжанов Юрий Борисович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
0В8Б		Бальжанов Юрий Борисович	
Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	Экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	01.03.02 Прикладная математики и информатика

Тема ВКР:

Исследование алгоритма деконволюции на основе анализа фазовых спектров сейсмических волн	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение	<p><i>Объект исследования: методы обработки сейсмических сигналов</i> <i>Область применения: цифровые технологии</i> <i>Рабочая зона: офисное помещение</i> <i>Размеры помещения: 27,2 м²</i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: 1 персональный компьютер</i> <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: алгоритмическая разработка с использованием персонального компьютера</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Рабочее место при выполнении работ сидя регулируется ГОСТом 12.2.032-78 – Организация рабочих мест с электронно-вычислительными машинами регулируется СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 – Трудовой кодекс Российской Федерации: федер. Закон от 30 дек. 2001 г. №197-ФЗ Раздел 10
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<ul style="list-style-type: none"> – Отклонение показателей микроклимата; – Недостаточная освещённость рабочей зоны; – Пониженная световая и цветовая контрастность; – Повышенный уровень шума на рабочем месте; – Повышенный уровень статического электричества; – Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны;
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Анализ воздействия на литосферу:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Утилизация компьютеров, оргтехники и бумаги; <p>Анализ воздействия на гидросферу:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Производство компьютерной техники; <p>Анализ воздействия на атмосферу:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Выделение вредных веществ при нагреве материнской платы; – Повышенная сухость воздуха при работе компьютера;
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Заторпление; – 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 ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		02.05.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0В8Б	Бальжанов Юрий Борисович		26.05.2022

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 85 с., 17 рис., 15 табл., 25 источников, 2 прил.

Ключевые слова: обратный фильтр сжатия, методы деконволюции, алгоритм фазочастотной деконволюции, оценка разрешения, функция правдоподобия.

Объектом исследования является (ются) волновое сейсмическое поле, формируемое при поиске нефтяных и газовых месторождений

Цель работы – Разработать алгоритм фазочастотной деконволюции и провести его исследования на моделях сейсмических записей

В процессе исследования проводилась разработка алгоритма фазочастотной деконволюции на основе метода фазочастотного прослеживания сейсмических волн, а также вычислительные эксперименты на моделях сейсмотрасс для оценки эффективности разработанного алгоритма

В результате исследования построена математическая модель одиночной сейсмотрассы, разработан алгоритм и программа на языке Python, проведено исследование алгоритма при наличии помех и в зонах интерференции волн.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: алгоритм деконволюции на основе анализа мгновенных фазовых спектров алгоритм деконволюции на основе анализа мгновенных фазовых спектров.

Степень внедрения: исследования на моделях

Область применения: обработка и интерпретация данных сейсморазведки

Экономическая эффективность/значимость работы. Показана возможность применения алгоритма фазочастотной деконволюции для повышения качества разрешения сейсмических волн

Обозначения и сокращения

АЧХ – амплитудночастотная характеристика;

АКФ – автокорреляционная функция;

ДПФ – дискретное преобразование Фурье;

ФЧД – фазочастотная деконволюция

И – исполнитель;

МОВ – метод отраженных волн;

НИР – научно-исследовательская работа;

НР – научный руководитель;

ОГТ – общая средняя точка;

ОТВ – общая точка возбуждения;

ОТП – общая точка приема;

ПВ – пункт взрыва;

ПП – пункт приема;

ФЧП – фазочастотное прослеживание;

ФЧХ – фазочастотная характеристика;

Содержание

1. Введение	12
2. Теоретическая часть	14
2.1. Методы и программные средства обработки информации для решения задач прослеживания сейсмических волн.....	14
2.1.1. Сейсмические сигналы и их использование для исследования слоистых поглощающих сред.....	14
2.1.2. Задачи прослеживания сейсмических волн и их решение на основе применения существующих методов деконволюции	19
2.2. Деконволюция сейсмических сигналов	22
2.2.1. Математический аппарат, используемый для построения цифровых обратных фильтров.....	23
2.2.2. Деконволюция сжатия (импульсная деконволюция).....	25
2.3. Разработка алгоритма фазочастотной деконволюции	27
2.3.1. Анализ методов фазочастотного прослеживания сейсмических волн	28
2.3.2. Построение алгоритма деконволюции сжатия на основе фазочастотного прослеживания сейсмических волн.....	30
3. Практическая часть.....	33
3.1. Исследование разработанного алгоритма на моделях сейсмического поля	33
3.1.1. Построение математической модели волнового поля отраженных волн	33
3.1.2. Исследование помехоустойчивости алгоритма.....	35
3.1.3. Оценка разрешающей способности алгоритма на построенной модели	43
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	48
4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	48
Анализ конкурентных технических решений	48
Был проведен анализ разработок конкурентов для введения корректив.	48
Была использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:	48
SWOT-анализ	50
4.2. Планирование научно-исследовательских работ	51
Определение трудоемкости выполнения работ	51
4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	53
4.3.1. Расчет материальных затрат НТИ.....	54

2.2.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	54
4.3.2. Расчет заработной платы для исполнителей.....	55
4.3.3. Дополнительная заработная плата.....	57
4.3.4. Отчисления во внебюджетные фонды.....	58
4.3.5. Расчет затрат на научные и производственные командировки	58
4.3.6. Контрагентные расходы.....	59
4.3.7. Накладные расходы.....	60
4.3.8. Прочие прямые затраты	60
4.3.9. Формирование бюджета затрат НИП	60
4.4. Оценка эффективности проекта.....	61
4.4.1. Интегральный показатель финансовой эффективности.....	61
5. Социальная ответственность.....	65
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	65
5.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	66
5.3. Производственная безопасность.	66
5.3.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований. Статические физические перегрузки	68
5.3.2. Нервно-психические перегрузки	69
5.3.3. Перегрузка зрительного аппарата.....	70
5.3.4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	70
5.3.5. Повышенный уровень электромагнитных излучений	71
5.3.6. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.....	71
5.3.7. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	72
5.4. Экологическая безопасность.	73
5.4.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	73
5.4.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.....	74
5.4.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	74
5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	74
5.5.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	74
5.5.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.	75

5.5.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	75
5.6. Выводы и рекомендации.....	76
Заключение.....	77
Список использованных источников	78
Приложение	81
Приложение 1.....	81
Приложение 2.....	83

1. Введение

При обработке и интерпретации данных сейсмических наблюдений, получаемых при поиске месторождений нефти и газа, значительное развитие в последнее время получили методы деконволюции, направленные на получение геологических разрезов с высокой разрешающей способностью [1–5]. 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. Как правило, деконволюция применяется перед суммированием; тем не менее, она применяется и к суммированным данным. С математической точки зрения деконволюция является операцией, основанной на обратной свертке сигналов [6], при этом для синтеза передаточной функции обратного фильтра необходимо иметь полную информацию о комплексном спектре сигнала [6]. Однако в большинстве известных алгоритмов деконволюции (импульсная, предсказывающая, поверхностно-согласованная, слепая) используют только информацию об энергетических спектрах сигналов, а фазочастотные характеристики отраженных волн считают либо минимально фазовыми, либо нуль-фазовыми [7–10]. Есть только несколько работ, в которых авторы предлагают в алгоритмах деконволюции использовать фазовые соотношения как числовые константы, значения которых были получены ранее в результате многочисленных экспериментов и не привязаны к конкретным обрабатываемым данным, например, такой подход рассматривается в [11]. 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. Поэтому разработка методов деконволюции, использующих наряду с амплитудными спектрами и фазовые спектры сейсмических сигналов, имеет весьма актуальное значение.

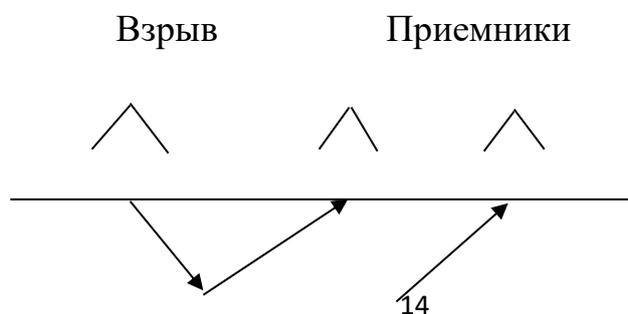
2. Теоретическая часть

2.1. Методы и программные средства обработки информации для решения задач прослеживания сейсмических волн

Повышение эффективности разведки месторождений нефти и газа в сложных сейсмогеологических условиях обуславливает необходимость применения методик детального расчленения слоистых неоднородных осадочных толщ, прогноза вещественного состава и коллекторских свойств пород, а также изучения условий их осадконакопления. В этом плане значительный интерес представляют методы исследований, в которых для решения данных задач широко используются информативные признаки, извлекаемые из кинематических и динамических параметров регистрируемых сейсмических волн.

2.1.1. Сейсмические сигналы и их использование для исследования слоистых поглощающих сред

Сейсмическая разведка (сейсморазведка) является одним из важнейших видов геофизической разведки и включает совокупность методов исследований геологического строения земной коры, основанных на изучении распространения в ней искусственно возбужденных упругих волн [12,13]. Вызванные взрывом или ударом упругие волны распространяются во все стороны от источника возбуждения и проникают в толщу коры на большую глубину. Здесь они претерпевают преломление и отражение и частично возвращаются к поверхности земли, где создаваемые ими колебания регистрируются (рис.1.1). Измеряя время распространения волн, и, изучая характер колебаний, определяют глубину залегания и форму тех геологических границ, на которых произошло преломление или отражение волны, а также судят о составе пород, через которые прошла волна[12,13].



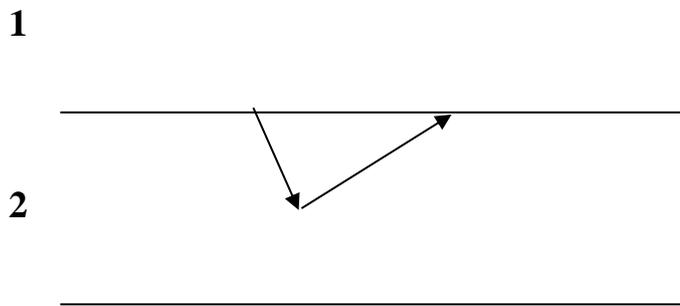


Рис. 1.1. Распространение сейсмической волны в двухслойной геологической среде

В настоящее время в сейсморазведке наибольшее распространение получил метод отраженных волн (МОВ), основанный на изучении упругих волн, отразившихся от границы раздела двух геологических пластов. В общем виде формирование сейсмического волнового поля МОВ представлено на рис.1.2.



Рис.1.2. Общая схема формирования сейсмического волнового поля

Извлечение полезной информации из полевых сейсмических записей МОВ происходит в процессе их обработки и интерпретации. Основное содержание этого процесса составляет решение обратных кинематических и динамических задач с целью определения структуры сейсмологической среды и упругих свойств составляющих ее слоев с границами любой формы по зарегистрированному на поверхности наблюдений полю искусственно возбужденных упругих волн.

На рис. 1.3. показана общая схема решения обратных задач в сейсморазведке при работе с МОВ [12,13]. Исходными данными являются априорная информация

о геологической среде и возбуждаемых сейсмических сигналах, а также экспериментальный материал. Исходя из поставленной задачи, на основе априорных данных формируются модели среды и сейсмограммы. Следует отметить, что эти модели взаимосвязаны, так как они отображают две стороны формирования сейсмического поля под воздействием геологических объектов. Затем исходный экспериментальный материал обрабатывается с целью извлечения полезной информации. В зависимости от конкретной задачи полезная информация может быть различной. Иногда она дает лишь качественную характеристику состояний объекта исследований, например, простое обнаружение сигнала на фоне помех, когда необходимо решить есть сигнал или его нет. В других случаях информация оказывается лишь количественной, если речь идет о численных оценках параметров сигнала, например определения временного положения сейсмического сигнала, существование которого не вызывает сомнений. Наконец, информация может иметь сложный характер, когда требуется произвести качественный и количественный анализ [12]. Далее осуществляется интерпретация, т.е. физико-геологическое истолкование результатов обработки. Поскольку, как правило, априорной информации недостаточно, при интерпретации часто приходится не только уточнять модели, но и разрешать неоднозначность некоторых результатов обработки. Поэтому многие приемы обработки и интерпретации взаимно переплетаются, что приводит к решению обратных задач в несколько этапов. В конечном итоге многоэтапность решения обусловлена двумя принципиальными обстоятельствами - недостаточностью априорной информации и вычислительной сложностью.

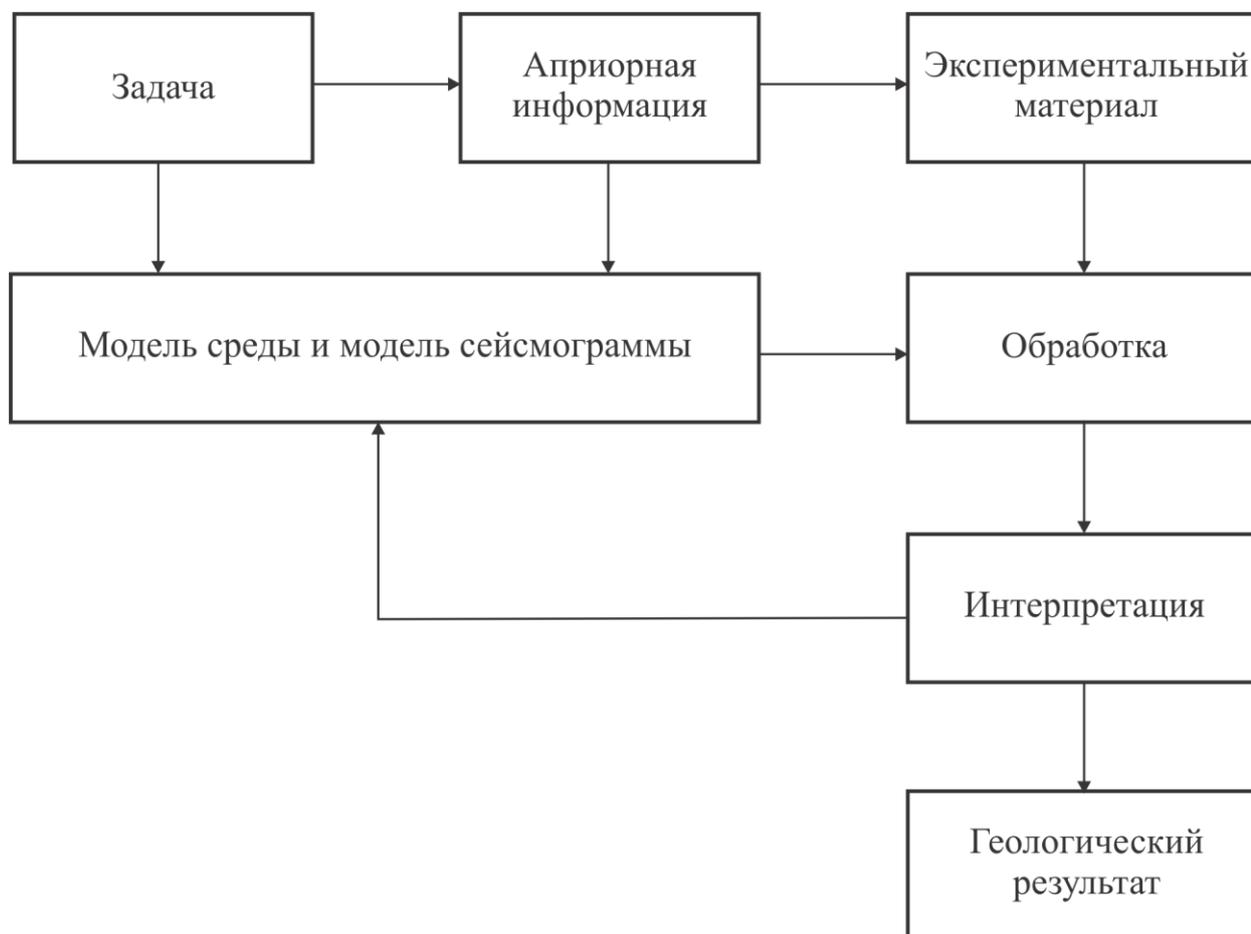


Рис.1.3. Общая схема решения обратных задач в сейсморазведке

В этих условиях, особо важное значение приобретает построение оптимальных и субоптимальных в статистическом смысле и эффективных в вычислительном отношении алгоритмов обработки и интерпретации экспериментальных данных, работающих достаточно надежно при малой априорной информации. Также необходимо, чтобы экспериментальный материал достаточно полно соответствовал модели, для которой построен алгоритм.

Теперь, учитывая, что экспериментальный материал при работе с МОВ формируется из отраженных сейсмических сигналов, регистрируемых на профиле наблюдения, для построения оптимальных алгоритмов обработки и

интерпретации данных необходимо на основе имеющейся априорной информации, знать свойства сейсмических сигналов.

Прежде всего отметим, что форма сигнала регистрируемого колебания в МОВ зависит от особенностей источника, поглощающего действия среды, явлений на границах, а также от особенностей приема и регистрации волн [12,13]. Поэтому из-за сложности строения геологической среды, изменчивости свойств источников и условий приема, форму сейсмического сигнала в каждом случае можно определить только экспериментально. Однако можно указать некоторые общие характерные особенности, присущие всем сейсмическим сигналам МОВ, получаемым при взрывном методе возбуждения [13]:

1. длительность сигналов не превышает длительности 2-3 преобладающих периодов волны и составляет 0,06-0,09 сек;
2. полоса частот, занимаемая сейсмическими сигналами при работе МОВ на суше составляет 15-120 Гц.

В отношении ширины полосы частот сейсмических сигналов, приведенной выше следует дать пояснения. Как любой сигнал конечной длительности, сейсмический сигнал имеет бесконечный спектр, т.е. его энергия распределена на бесконечной полосе частот. Однако основная часть энергии сигнала сосредоточена именно в полосе 15-120 Гц. Поэтому, именно эту полосу частот и будем считать шириной спектра сейсмического сигнала. Тогда можно утверждать, что сейсмические сигналы относятся к классу сложных, широкополосных частотных сигналов малой длительности, которые могут быть односторонними и двусторонними функциями времени. Также по виду ФЧХ можно выделить множества минимально-фазовых сигналов и сигналов с линейной ФЧХ, которые как будет видно из второго раздела работы, широко используются для аппроксимации реальных сейсмических сигналов.

Таким образом, на основе проведенного анализа видно, что внутренняя структура сейсмических сигналов такова, что эти сигналы имеют возможность переносить достаточно большой объем информации о среде их распространения. Следовательно, на основе измерения кинематических и динамических

параметров регистрируемых сейсмических сигналов могут быть построены эффективные алгоритмы обработки и интерпретации данных с целью решения как структурных задач, так и прогноза вещественного состава и коллекторских свойств геологических сред.

2.1.2. Задачи прослеживания сейсмических волн и их решение на основе применения существующих методов деконволюции

В задачи прослеживания входит обнаружение фиксированных волн, их идентификация и оценка параметров. При этом основными оцениваемыми параметрами являются амплитуды и моменты прихода волн. Значения моментов прихода волн при решении конкретных задач могут заменяться на параметры с другим физическим смыслом. Например, это могут быть параметры осей синфазности, временного или глубинного разрезов, статические поправки и другие, функциональная связь которых с моментами прихода волн известна [13]. В зависимости от физического смысла искомых параметров, прослеживание может выполняться как по входным данным, так и по выходным. В первом случае речь идет о нахождении общих характеристик некоторого участка записи по корреляции волн на сейсмограммах, а во втором об исследовании закономерностей в поведении кинематических и динамических характеристик разреза, а также идентификации границ раздела. При этом, прослеживание входных данных выполняется всегда, так как оно лежит в основе статистического эффекта накопления полезной информации. Прослеживание выходных данных может и не выполняться. Однако, если оно выполняется, то всегда назначается участок в пределах которого принимается решение о поведении искомого объекта (волны или границы).

До сих пор в особо сложных ситуациях прослеживание осей синфазности на сейсмограммах выполняется либо визуально (вручную), либо в комплексном режиме в несколько этапов, применяя ручную и автоматическую обработки. Достоинства визуального прослеживания заключаются в его универсальности и гибкости, которые достигаются благодаря опыту интерпретатора, его способности к критическому анализу разнообразных

ситуаций в волновой картине. Недостатком этой методики является ее трудоемкость и зависимость качества прослеживания от профессионализма и интуиции интерпретатора.

Автоматическое прослеживание применяется практически при обработке всех сейсмических материалов и основано, как правило, на использовании алгоритмов, реализующих процедуры статистического принятия решений. Такой подход получил начало более сорока лет назад, однако применяется до сих пор, постоянно развиваясь и адаптируясь к современным технологическим, аппаратным и программным решениям в практике сейсморазведке.

Однако, при создании подобных алгоритмов возникают значительные трудности, связанные прежде всего с особенностями задач прослеживания и малой априорной информацией о характеристиках прослеживаемых волн. Рассмотрим последовательно оба фактора.

Наличие первого фактора объясняется тем, что прослеживание волн относится к категории «неклассических» задач [14], увязывающих статистическую теорию приема-выделения сейсмических сигналов с теорией интерпретации. Так, с одной стороны теория интерпретации использует разработанные в теории приема модели и методы, а с другой стороны, определяет, как и каким образом формируются задачи обнаружения и измерения параметров сигналов в процессе обработки. Все это приводит к необходимости комплексного решения всех задач прослеживания (обнаружения, идентификации, измерения), используя на каждом этапе всю имеющуюся информацию о сейсмических сигналах. Действительно, разделение задач прослеживания на задачи, где, например, задача обнаружения решается по амплитудным признакам, а идентификация проводится по временам вступления, не является оптимальной процедурой, так как обнаружение волн широкого класса (любые регулярные волны) является менее надежной, чем обнаружение волны с заданными значениями параметров. Поэтому при решении таких задач целесообразно применять формализованные алгоритмы, которые производят обнаружение фиксированных волн и измерение их моментов прихода. Такие алгоритмы рассмотрены, например, в [15,16], где они названы алгоритмами

идентифицированного приема.

Второй фактор, объясняющий наличие априорной неопределенности о свойствах сейсмических сигналов в сейсморазведке связан с рядом причин [13]:

- при взрывных методах возбуждения упругих волн, их форма при регистрации на профиле наблюдения, как правило, неизвестна;

- отраженные волны регистрируются на сравнительно небольших удалениях от источника, так что их запись часто осложняется помимо нерегулярных волн, регулярными волнами, имеющими ту же природу, что и полезная волна. Это в первую очередь многократно отраженные волны;

- записи МОВ достаточно часто воспроизводят с использованием автоматической регулировки усиления (APУ), которая искажает амплитудные соотношения входящих колебаний.

Таким образом, в силу данных факторов, основными критериями для прослеживания сейсмических волн являются[17]:

1. сохранение формы записи волны на всем протяжении интервала прослеживания: форма записи определяется главным образом преобладающим периодом, длительностью колебаний и соотношением амплитуд различных экстремумов волны;

2. изменение интенсивности: как правило, амплитуда уменьшается по мере удаления от пункта приема;

3. синфазность колебаний.

Теперь с учетом рассмотренных выше особенностей задач прослеживания сейсмических волн, а также сформировавшихся подходов для их решения, рассмотрим методы, наиболее широко используемые для прослеживания сигналов. При полной априорной информации относительно свойств полезного сигнала и помех, структуру оптимальных методов можно получить из известной формулы Байеса, определяющей в явном виде зависимость между апостериорными вероятностями параметров и выборкой экспериментального материала [18]. Однако, наилучший результат достигим только при условии, что экспериментальный материал полностью соответствует модели, для которой построен оптимальный метод. Оценим, какой априорной информацией для

построения модели волнового поля мы располагаем в начале обработки. Из геологических исследований, каротажа скважин, а также других видов разведки обычно известна некоторая приближенная картина среды под профилем наблюдения. Она может включать такие сведения, как диапазоны изменения основных величин, характеризующих сейсмический разрез; глубины залегания границ или времена регистрации приходящих от них волн; интервальные или средние скорости; углы наклона границ; интенсивность отражений от основных горизонтов; наличие кратнообразующих границ и т.п. Из приведенной информации следует, что случаев, когда все параметры регистрируемого на профиле наблюдения сигнала точно известны в сейморазведке практически не встречается. В этих условиях применение метода Байеса становится невозможным, и следовательно, предельно достижимой точности оценок временного положения сейсмических сигналов достичь также невозможно.

Поэтому для решения задач прослеживания, в таких условиях, можно использовать два подхода:

- 1) использовать адаптивный байесовский подход [18];
- 2) применять методы прослеживания, основанные на анализе только имеющейся априорной информации.

В настоящее время наибольшее распространение получил второй подход, в рамках которого наиболее перспективным направлением является проведение деконволюции сейсмических волн, что позволяет существенно сжать сигнал и тем самым наиболее точно оценить его временное положение.

2.2. Деконволюция сейсмических сигналов

Основное назначение методов деконволюции (обратная свертка) – восстановление истинной формы сигнала, который несет в себе информацию об исследуемом объекте, процессе, явлении и т.п., после его искажения или сжатия при регистрации данных с помощью измерительного прибора или канала связи.

Для восстановления истинной формы сигнала необходимо выделить основные характеристики искажающей системы. К ним относятся, в первую очередь, импульсный отклик системы или его частотная передаточная функция. Методы деконволюции реализуются с помощью цифровых фильтров, у которых частотные характеристики обратны частотным характеристикам искажающей системы [19]. Иногда реализация таких фильтров не возможна. Так, например, восстановление в сигнале частот, которые были полностью подавлены, а при восстановлении частотных составляющих, ослабленных до уровня шумов, одновременно происходит значительное усиление дисперсии шумов, в которых полезный сигнал может полностью затеряться.

Также деконволюция (обратная свертка) используется для решений многих задач по обработки данных. Так, в геофизике она используется для сжатия сложных сигналов с целью повешения результатов измерения временного или пространственного разрешения. В ядерной геофизике методы деконволюции выполняют основную роль при количественной интерпретации результатов измерений, чему способствует принцип суперпозиции ядерно-физических полей. В грави- и магниторазведке с применением деконволюции выполняются расчеты аномальных полей вниз[16].

2.2.1. Математический аппарат, используемый для построения цифровых обратных фильтров

С математической точки зрения деконволюция является операцией, основанной на обратной свертке сигналов [19]:

$$S(f) = X(f)/H(f) = X(f)H^{-1}(f) \Leftrightarrow x(t) \otimes h^{-1}(t) = s(t),$$

где индексом «-1» обозначена передаточная функция оператора обратного фильтра. Теперь рассмотрим деконволюцию сжатия (импульсную деконволюцию) применительно к сейсмической трассе.

Пусть сейсмическая трасса имеет вид [19]:

$$x(t) = s(t) \otimes e(t) + n(t),$$

где $x(t)$ – зарегистрированная сейсмограмма; $s(t)$ – основной сейсмический импульс; $e(t)$ – импульсный отклик разреза; $n(t)$ – случайная помеха; \otimes – круговая свёртка.

Задачей импульсной деконволюции является восстановление последовательности коэффициентов отражения (или импульсного отклика $e(t)$) по зарегистрированной сейсмограмме $x(t)$. Тогда, при отсутствии помех, оператор фильтра $h(t)$ может быть найден из соотношения

$$e(t) = h(t) \otimes x(t) \text{ или } x(t) = s(t) \otimes h(t) \otimes x(t).$$

При удалении $x(t)$ из обеих частей уравнения получаем следующее:

$$\delta(t) = s(t) \otimes h(t), \quad (2.1)$$

где $\delta(t)$ представляет дельта-функцию Кронекера.

Выполним дискретное преобразование Фурье (ДПФ) от левой и правой части уравнения (2.1) и получим

$$\Delta(f) = S(f)H(f).$$

Тогда частотная характеристика фильтра будет иметь вид

$$H(f) = \Delta(f)/S(f), \quad (2.2)$$

где $S(f)$ – комплексный спектр сейсмического импульса.

Таким образом, фильтр с данной частотной характеристикой преобразует сейсмический импульс в единичный импульс при $t = 0$, а сейсмограмму – в последовательность единичных импульсов, которая и определяет импульсный отклик разреза. Идеальные обратные фильтры рассчитываются в предположении, что исходной формой сигнала был импульс бесконечно малой длительности (дельта-импульс), а помехи на сейсмограмме отсутствуют. На реальных сейсмограммах подобный фильтр реализовать сложно из-за его неустойчивости даже к низкому уровню случайного шума. Наибольшей устойчивостью к уровню помех при неизвестной форме полезного сигнала обладает минимально-фазовая деконволюция. Ее оператор рассчитывается через автокорреляционную функцию сейсмограмм в интервале преобладания полезных волн. Неустойчивость обратной фильтрации уменьшается введением параметра

регуляризации, однако с его ростом падает и эффект сжатия импульсов. Степень сжатия импульсов деконволюцией зависит от значения сигнал/помеха сейсмограммы до обработки и степени соответствия формы импульсов минимально-фазовой модели. В том случае, когда ФЧХ сигнала отлична от ФЧХ минимально-фазового сигнала, минимально-фазовая деконволюция не обеспечивает требуемого разрешения на импульсной сеймотрассе, что приводит к необходимости коррекции фазовых спектров, что выполнить весьма непросто. В то же время, как было показано выше, при определенном выборе начала отсчета и длительности окна анализа, фазовые спектры сейсмических сигналов обладают свойством стационарности, что позволяет построить алгоритмы деконволюции, не требующие коррекции фазовых спектров. Чтобы убедиться в этом, рассмотрим предложенный нами ранее метод фазочастотного прослеживания сейсмических волн, на основе которого выполняется фазочастотная деконволюция.

2.2.2. Деконволюция сжатия (импульсная деконволюция)

Импульсная деконволюция является видом обратной фильтрации, после использования которой, сигнал сжимается до дельта-импульса. Также ее желаемым результатом является устранение влияния кратных отражений и импульса источника. Рассмотрим основные математические действия, в ходе которых сигнал сжимается. Для этого сначала необходимо перейти из временной области в спектральную [20]. Амплитудный спектр входного сигнала и спектр (амплитудный) оператора фильтра:

$$x(t) \rightarrow X(\omega)$$

$$h(t) \rightarrow H(\omega)$$

Тогда уравнение свертки во временной области, есть перемножение соответствующих спектров:

$$x(t) \otimes h(t) \rightarrow X(\omega)H(\omega)$$

Известно, что дельта-импульсу во временной области соответствует единичный спектр в частотной, тогда входной сигнал $x(t)$ сворачивается с оператором, у которого спектр равен обратному спектру $x(t)$:

$$H(\omega) = \frac{1}{X(\omega)}$$

тогда результатом $F(\omega)$ является:

$$F(\omega) = X(\omega)H(\omega) = 1$$

Для устранения нулевых значений в амплитудном спектре входного сигнала, используются следующие действия:

1. Домножим и разделим правую часть на комплексно-сопряженный спектр $\bar{X}(\omega)$

$$H(\omega) = \frac{\bar{X}(\omega)}{||X(\omega)||^2}$$

Где $||X(\omega)||^2$ – энергетический спектр $x(t)$.

2. Для устранения неопределенности при делении на 0, к энергетическому спектру добавляем переменную $\xi(t)$:

$$H(\omega) = \frac{\bar{X}(\omega)}{||X(\omega)||^2 + \xi(t)}$$

где $\xi(t)$ – это «белый шум», который представляет собой сигнал, имеющий автокорреляционную функцию, математически являющейся функцией Дирака, а также спектр мощности, которого имеет постоянную плотность.

Для нахождения оператора фильтра, соответствующего условию, используют уравнение Колмогорова - Винера:

$$\sum_{i=0}^N h(i) * b_x(\tau - i) = x(0)$$

где $h(i)$ – оператор фильтра в дискретной форме, $b_x(\tau - i)$ автокорреляционная функция временного ряда $x(i)$, $x(0)$ – единичная функция.

Выражения решаются с помощью составления системы линейных алгебраических уравнений относительно $h(i)$.

Как следует из рассмотренных выше методов деконволюции, при их синтезе используют в основном только априорную информацию об амплитудно-частотных характеристиках сейсмических сигналов. Относительно фазовых соотношений вводятся лишь некоторые предпосылки, например, линейная фазочастотная характеристика, минимально-фазовая и т.д. Если данные предпосылки оказываются верными, то алгоритмы деконволюции позволяют получать надежные оценки временного положения сигналов, если нет, то результаты прослеживания приводят к существенным погрешностям. Это связано с тем, что именно в фазовые спектры сигналов заложена основная информация о их временных задержках. Поэтому в ряде практических случаев, данные алгоритмы не могут в достаточной степени обеспечить необходимое разрешение сейсмического сигнала, что вызывает необходимость разработки новых алгоритмов сжатия сейсмических данных, основанных на использовании всей априорной информации о комплексных спектрах сложных сигналов. Одним из возможных путей построения таких алгоритмов является их синтез на основе фазочастотной деконволюции, которая будет рассмотрена ниже..

Таким образом, необходимо построить алгоритмическое и программное обеспечения для сжатия сейсмических сигналов на основе обработки их фазочастотных характеристик, а также провести исследования эффективности предложенных алгоритмов.

2.3. Разработка алгоритма фазочастотной деконволюции

Алгоритмы сжатия сейсмических сигналов используются в основном для повышения разрешения сигналов на сейсмотрассах с целью выделения отражающих горизонтов, замаскированных зонами интерференции и интенсивными помехами. При этом основным оцениваемым параметром

является временное положение сигнала, приуроченное к его максимальной амплитуде. Поэтому рассмотрим предварительно методы оценки временного положения сложных сигналов, когда оптимальной обработке подвергается их ФЧХ.

2.3.1. Анализ методов фазочастотного прослеживания сейсмических волн

При вычислении фазовых спектров сейсмических колебаний большое значение имеет выбор на сейсмической записи начала отсчета времени и величины временного интервала (размера окна анализа), внутри которого выполняется дискретное преобразование Фурье. Зависимость фазовых спектров сигналов от начала отсчета проявляется в известной теореме о временном сдвиге, согласно которой при сдвиге сигнала на величину t_0 его амплитудный спектр не изменяется, а фазовый спектр получает линейную добавку $\varphi_0 = \omega t_0$ [21]. Обычно фазовые спектры отражений имеют вид монотонных кривых без выраженных особенностей формы [13], что затрудняет выделение каких-либо закономерностей в их свойствах. Проведенные нами исследования показали, что при совмещении начала отсчета с центром окна анализа фазовые спектры наиболее часто используемых аналитических моделей сейсмоимпульсов в определенной полосе частот принимают постоянное, не зависящее от частоты значение [22]. В качестве примера на рис. 3.1 приведены импульсы с колокольной огибающей (импульс Пузырева) и импульс Берлаге, а также их фазовые спектры, найденные в окне анализа, составляющем 2,5 видимых периода импульсов, и совмещении начала отсчета с центром окна. Из рисунка видно, что в полосе частот, где сосредоточена основная энергия сигналов, их фазовые спектры практически не зависят от частоты и принимают постоянное значение.

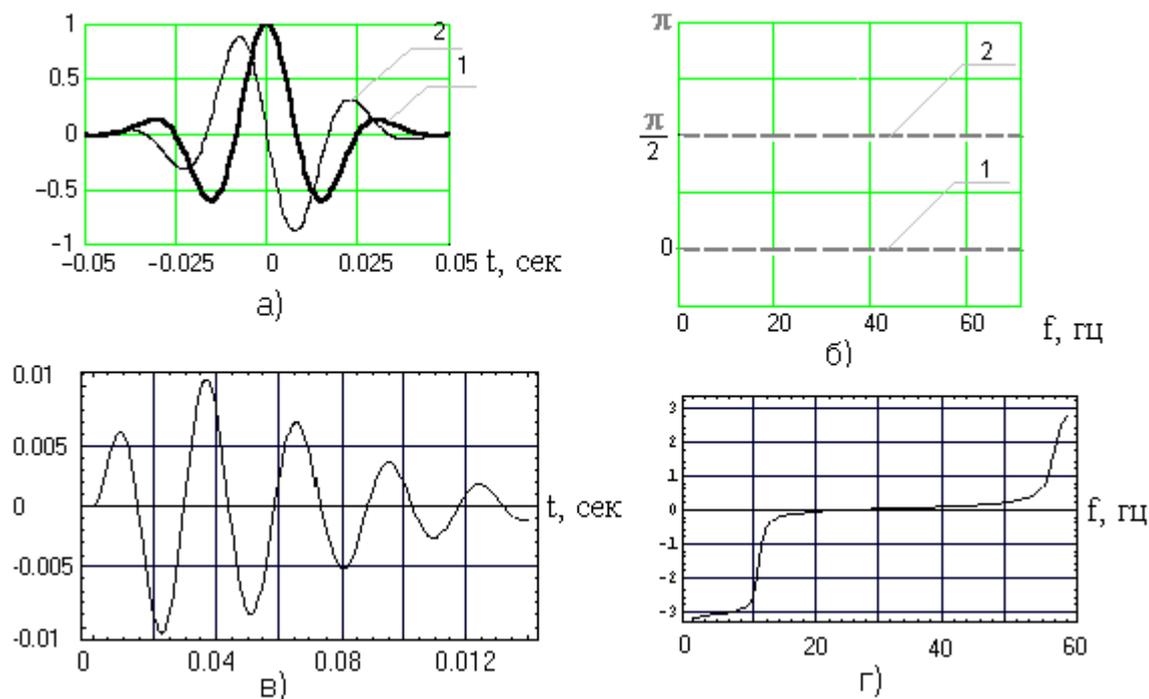


Рис. 3.1. Пояснение эффекта стационарности фазового спектра отраженных волн: а) импульсы с колокольной огибающей; б) импульс Берлаге; в) фазовые спектры импульса с колокольной огибающей; г) фазовый спектр импульса Берлаге

Эта важная особенность фазовых спектров сейсмоимпульсов и была названа свойством их «стационарности». При ограниченной длительности сейсмоимпульсов область стационарной фазы определяется полосой частот [23]:

$$\left[\max \left\{ 0, f_0 - \frac{1}{T} \right\}, f_0 + \frac{1}{T} \right],$$

где f_0 – преобладающая частота в спектре импульса, а T – длительность окна анализа.

Физическое обоснование эффекта стационарности фазового спектра сейсмоимпульсов вытекает из известного локационного принципа передачи сигналов через линейные среды. В соответствии с этим принципом, перенос энергии сигналом возможен лишь при условии синфазности его гармонических составляющих в основном диапазоне частот. Наиболее полно этот принцип выполняется для идеально упругих сред. Для сред с поглощением наблюдается отклонение от «идеальной» стационарности. Тем не менее, как показали исследования спектров однократно отраженных сейсмических волн в различных

районах Западной Сибири, и для них удается выделить стационарную составляющую ФЧХ [23]. Стационарные участки выделяются и для интерференционных колебаний, обычно регистрируемых при отражении волн в тонкослоистых средах.

Выделенные особенности поведения фазовых спектров сейсмических сигналов, как будет показано далее, могут быть эффективно использованы для построения частотных характеристик обратного фильтра.

2.3.2. Построение алгоритма деконволюции сжатия на основе фазочастного прослеживания сейсмических волн.

Использование априорной информации о стационарности фазовых спектров отраженных волн и их свойствах, определяемых теоремой о временном сдвиге, позволило синтезировать фазочастотные методы прослеживания волн [24], для понимания сути которых остановимся кратко на задачах прослеживания.

Прослеживание сейсмических волн и границ занимает одно из ведущих положений при решении задач структурной сейсморазведки. Основными неизвестными параметрами при прослеживании волн являются моменты их прихода. На основе результатов прослеживания выходных данных осуществляется построение структурных карт и палеопостроения. На практике довольно часто необходимо решать задачи прослеживания волн в условиях их интенсивной интерференции. Такая ситуация наиболее характерна при исследованиях тонкослоистых сред. При этом, как правило, приходится осуществлять прослеживание волн в условиях, когда форма сигналов неизвестна. В этой связи реализуемые алгоритмы прослеживания сейсмических волн должны обладать повышенной разрешающей способностью и позволять надежно осуществлять оценку их кинематических параметров в условиях неполной априорной информации о свойствах выделяемых сигналов. Из приведенных задач следует, что деконволюция сейсмических сигналов является одним из важнейших инструментов для успешного прослеживания волн. Поэтому рассмотрим методы фазочастотного прослеживания волн с позиции

решения ими задачи деконволюции.

В общем случае основная идея методов фазочастотного прослеживания состоит в вычислении мгновенных фазовых спектров участков сейсмотрассы в скользящем вдоль трассы окне анализа и формировании на их основе функции правдоподобия (критерий оценки временного положения сигналов) следующего вида [24]:

$$L(t) = \sum_{k=1}^m w(\omega_k) \cos[\varphi(\omega_k, t)], \quad (3.1)$$

где $w(\omega_k)$ – задаваемая искусственно частотная весовая функция; $\varphi(\omega_k, t)$ – мгновенный фазовый спектр участка трассы, вычисляемый в скользящем окне анализа.

В зависимости от вида $w(\omega_k)$ в (3.1) можно выделить алгоритмы с равновесной обработкой ($w(\omega_k)$ принимается равной единице во всей полосе частот) и алгоритмы с неравновесной обработкой. Для алгоритма с неравновесной обработкой $w(\omega_k)$ может быть задана с помощью треугольной, синусоидальной или иной функции. Ниже приведен пример треугольной функции $w(\omega_k)$, которая использовалась при дальнейших расчетах:

$$w(\omega) = \frac{4}{3\omega_c} \begin{cases} 0, & \omega \leq \omega_H \\ \frac{2}{\omega_c}(\omega - \omega_H), & \omega_H < \omega \leq \omega_c \\ -\frac{1}{\omega_c}(\omega - \omega_B), & \omega_c < \omega \leq \omega_B \end{cases},$$

где ω_B и ω_H – соответственно верхние и нижние частоты, определяющие $w(\omega_k)$; $w(\omega_c)$ – частота максимума $w(\omega_k)$. При этом $\omega_c = 2\omega_H$; $\omega_B = 2\omega_c$.

Обратимся теперь к алгоритму фазочастотного прослеживания с равновесной обработкой:

$$L(t) = \sum_{k=1}^m \cos[\varphi(\omega_k, t)], \quad (3.2)$$

и проведем анализ его функции правдоподобия.

Из выражения (3.2) следует, что функция правдоподобия является обратным дискретным преобразованием Фурье от результата фильтрации исходного процесса цифровым фильтром с частотной характеристикой вида [24]:

$$H(\omega_k) = \frac{1}{|X(\omega_k)|}, k = \overline{1, m}, \quad (3.3)$$

где $|X(\omega_k)|$ – амплитудно-частотная характеристика сейсмотрассы.

Сравнивая выражения (2.2) и (3.3) нетрудно показать определенную аналогию между процедурой оценки временного положения сигналов в алгоритме фазочастотного прослеживания и обратной фильтрацией. Действительно, рассмотрим действие фильтра с частотной характеристикой (3.3). Прежде всего, отметим, что данный фильтр, как и обратный фильтр с частотной характеристикой (2.2), нормирует к единице амплитудный спектр исследуемого колебания во всей полосе частот. Отличия заключаются в том, что при фазочастотном прослеживании фазовые спектры сейсмических сигналов корректируются автоматически (приводятся к стационарным) путем выполнения дискретного преобразования Фурье (ДПФ) в скользящем окне анализа с началом отсчетов, привязанному к центру окна. Таким образом, фазочастотное прослеживание с равновесной обработкой можно рассматривать как фазочастотную деконволюцию. При этом известно [25], что выравнивание амплитудно-частотной характеристики при линейной фазочастотной характеристике приводит к сжатию сигнала, а следовательно, появляется реальная возможность увеличить разрешение сигналов на записи. Кроме того, при реализации фазочастотного прослеживания с неравновесной обработкой (3.1) с помощью задания весовых коэффициентов $w(\omega_k)$ можно управлять частотной характеристикой обратного фильтра:

$$H(\omega_k) = \frac{w(\omega_k)}{|X(\omega_k)|}, k = \overline{1, m},$$

что позволит дополнительно увеличить разрешение импульсной сейсмотрассы.

На основании вышеизложенного был разработан алгоритм фазочастотной деконволюции, блок-схема которого приведена в разделе 4

3. Практическая часть

3.1. Исследование разработанного алгоритма на моделях сейсмического поля

Исследование эффективности разработанного алгоритма проводилось с помощью вычислительного эксперимента на построенной модели волнового поля.

3.1.1. Построение математической модели волнового поля отраженных волн

В качестве общей модели была принята аддитивная смесь совокупности полезных сигналов, имеющих одинаковую форму, сдвинутых относительно друг друга и нормальной помехи. В качестве полезного сигнала был принят импульс колокольной огибающей.

$$x(n) = \exp(-(bt)^2)\cos(w_0t + v_0)$$

Шум генерировался датчиком случайных чисел с нормальным законом распределения. Отношение сигнала к шуму задавалось в виде отношения максимального значения сигнала к среднеквадратическому отклонению шума.

В качестве примера на рис.4.1 представлен вид сигнала, а на рис.4.2 аддитивная смесь сигнала и шума.

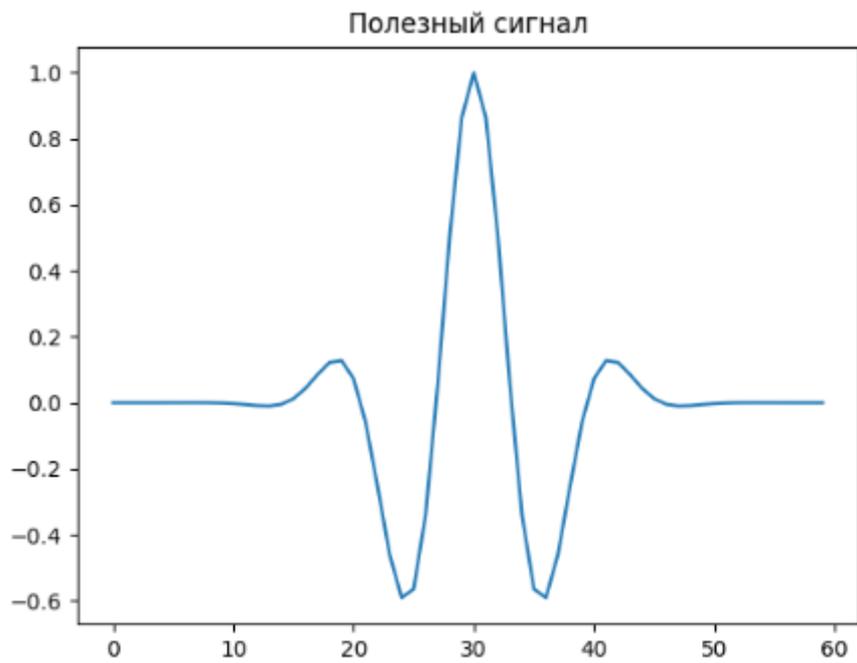


Рис.4.1. Полезный сигнал

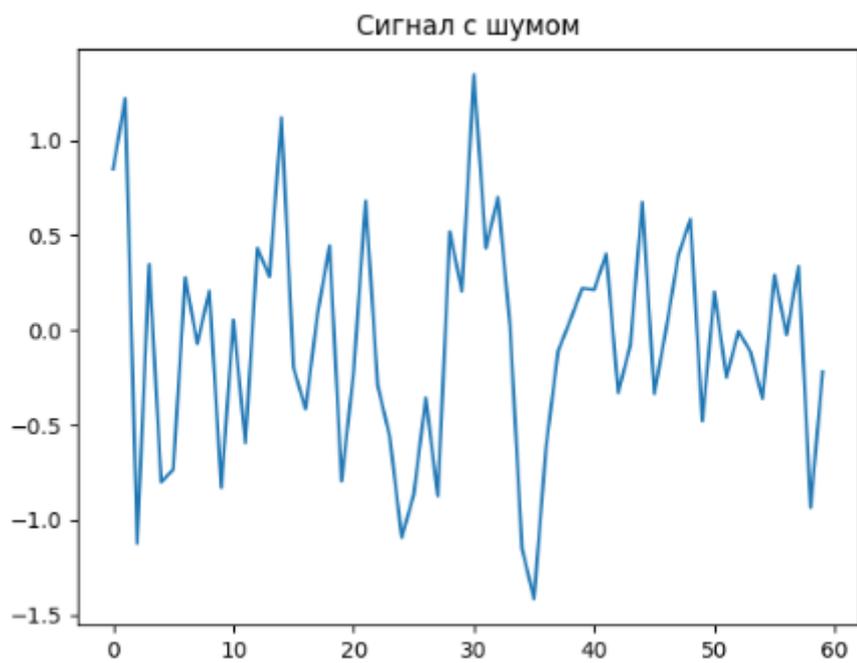


Рис.4.2.. Смесь сигнала с шумом

Изменение среднеквадратического отклонения шума позволяло сформировать необходимое отношение сигнал/шум.

3.1.2. Исследование помехоустойчивости алгоритма



Рис.4.3. Блок-схема алгоритма

Описание алгоритма

В качестве модели волнового поля в данном алгоритме используется аддитивная сумма полезного сигнала и нормального шума:

$$x(n) = s(t) + N(t),$$

В качестве полезного сигнала принимается импульс с колокольной огибающей:

$$s(n) = \exp(-(bt)^2)\cos(\omega_0 t + v_0)$$

а шум создается датчиком случайных чисел с математическим ожиданием равным нулю и переменной дисперсией. Отношение сигнала к шуму рассчитывается как отношение максимума сигнала к среднеквадратическому отклонению шума.

Затем окно анализа, равное длительности полезного сигнала, устанавливается в первоначальное положение и вычисляется ДПФ от смеси сигнала с шумом для первого положения окна:

$$A(\omega) = \sum_{i=t_0}^{tn} x(t) * \cos(\omega * t)$$

$$B(\omega) = \sum_{i=t_0}^{tn} x(t) * \sin(\omega * t)$$

Получив значения коэффициентов Фурье, вычисляем текущие (мгновенные) амплитудный и фазовый спектры:

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

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

Далее окно анализа смещается на шаг, равный шагу дискретизации по времени, и повторяются вычисления мгновенных спектров для нового положения окна. Вычисления продолжаются до тех пор, пока окно анализа не достигнет последней точки.

Находим функцию правдоподобия, как сумма косинусов значений мгновенного фазового спектра:

$$L(\tau) = \sum_{k=1}^m \cos[(\varphi(\omega_k) - \omega_k \tau)] \quad (4.4)$$

Далее проводим аналогичные вычисления для построения функции правдоподобия с искусственной частотной функцией.

$$L1(\tau) = \sum_{k=1}^m w(\omega_k) * \cos[\varphi(\omega_k) - \omega_k \tau], \quad (4.5)$$

где:

$$w(\omega) = \frac{4}{3\omega_c} \begin{cases} 0, & \omega \leq \omega_H \\ \frac{2}{\omega_c}(\omega - \omega_H), & \omega_H < \omega \leq \omega_c \\ -\frac{1}{\omega_c}(\omega - \omega_B), & \omega_c < \omega \leq \omega_B \end{cases}$$

где ω_c верхняя частота, а ω_H нижняя частота, вместе они определяют $w(\omega_k)$; $w(\omega_c)$ – частота максимума $w(\omega_k)$. Также $\omega_c = 2\omega_H$; $\omega_c = 2\omega_H$. Для определения нижней и верхней частоты используем рассчитанный амплитудный спектр.

Далее для оценки эффективности разработанных алгоритмов проводим вычислительный эксперимент для сформированных выборок объемом 100 наблюдений и различных отношений сигнала к шуму. В результате получаем оценки математического ожидания и дисперсии временного положения сигнала на основе проведенной деконволюции сжатия. Также строим интервальные оценки для математического ожидания. Полученные оценки позволяют говорить о точности проведенной деконволюции.

Теперь, чтобы убедиться в эффективности предлагаемого алгоритма, приведем результаты вычислительного эксперимента.

Для исследования помехоустойчивости алгоритма проводились

исследования на построенной модели с одним сигналом при различных отношениях сигнала к шуму. На рисунке 4.4 показана функция правдоподобия для чистого сигнала, построенная на основе разработанного алгоритма.

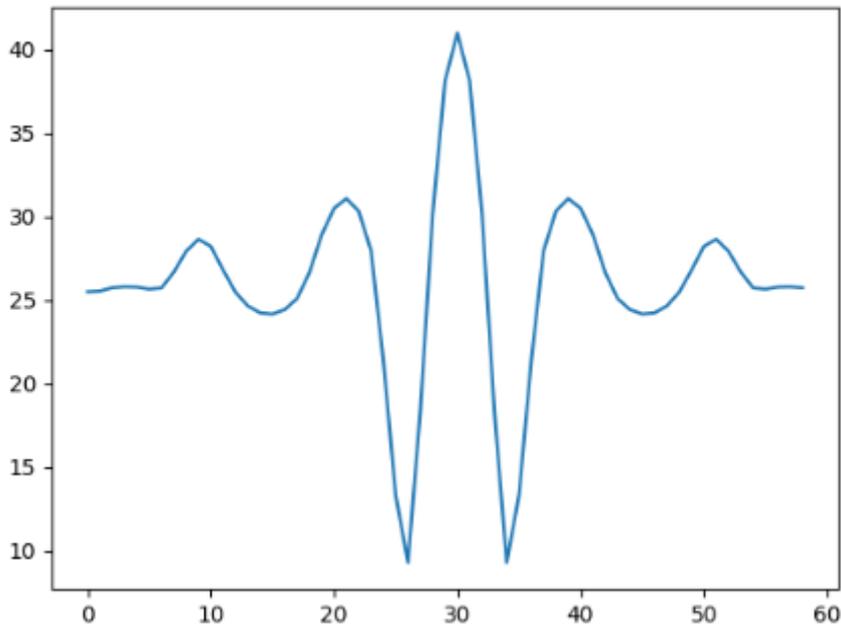


Рис.4.4 Функция правдоподобия чистого сигнала

Из сравнения рисунков 4.1 и 4.4 видно, что получаемая функция правдоподобия повторяет по форме сам сигнал. Однако появляются дополнительные экстремумы, которые не видны на исходном сигнале. А сам сигнал становится более амплитудно-выраженным и несколько сжатым. При этом временное положение четко соответствует исходному сигналу. Таким образом, сейсмическая запись, получаемая после деконволюции может быть использована для дальнейшей интерпретации.

Для исследования влияния помех на результаты ФЧД проводился вычислительный эксперимент на основе разработанного алгоритма и написанной программы на языке Python. Объем исследуемой выборки составлял 100 наблюдений для каждого отношения сигнала к шуму. При этом

рассматривался вариант с равновесной обработкой (выражение 3.4) и неравновесной обработкой (выражение 3.5). В результате эксперимента были получены оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения (СКО) временного положения сигнала после деконволюции для двух функций правдоподобия.

На рис.4.5. представлены интервальные оценки математического ожидания, а на рисунке 4.6 точечные оценки среднеквадратического отклонения для равновесной обработки.

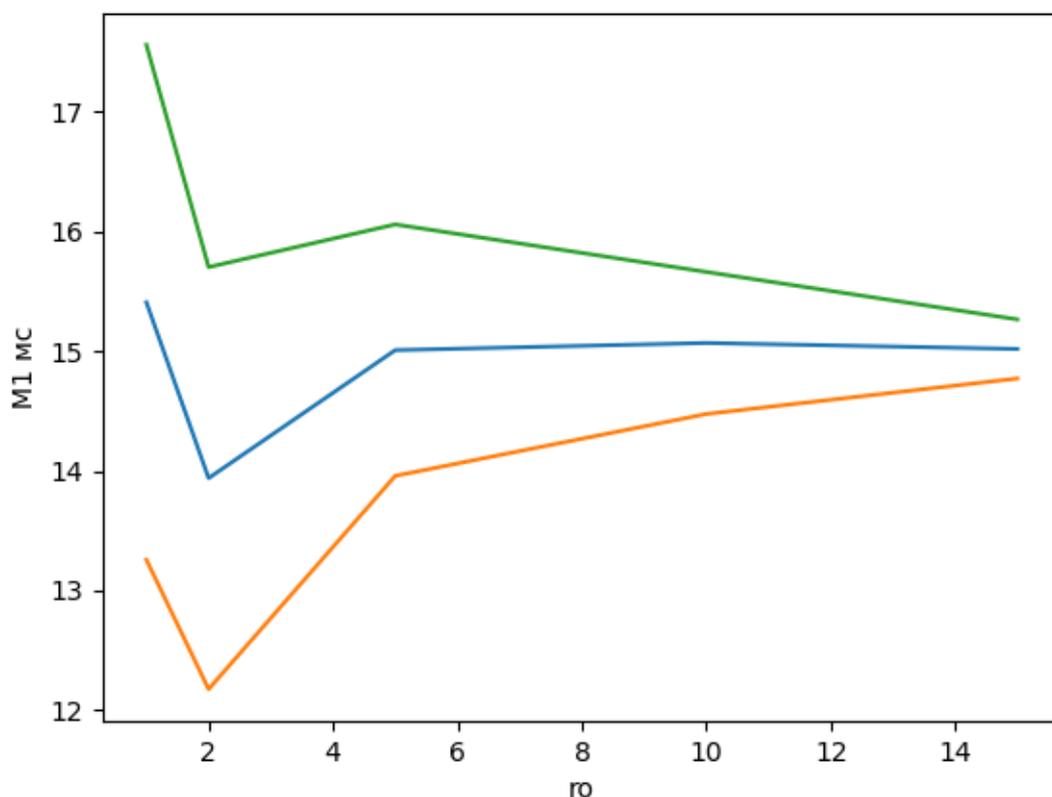


Рис.4.5. Интервальные оценки математического ожидания в зависимости от отношения сигнала к шуму

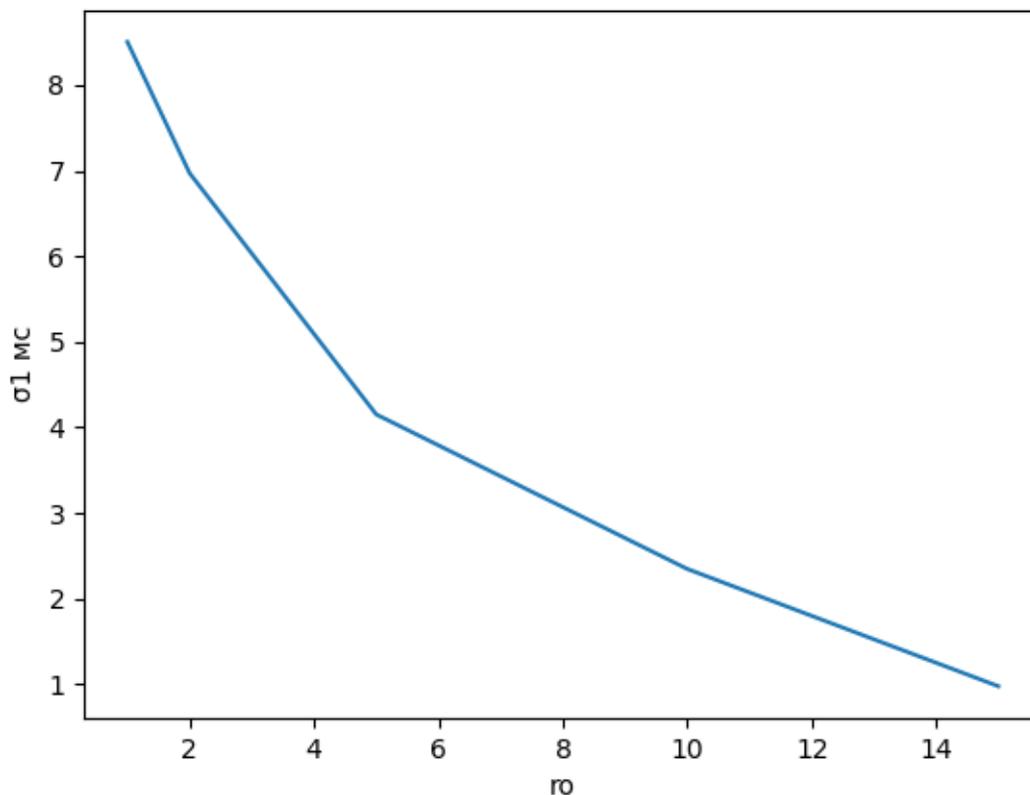


Рис.4.6. Точечные оценки среднеквадратического отклонения в зависимости от отношения сигнала к шуму

Из рисунков видно, что математическое ожидание временного положения сигнала дает несмещенную оценку при отношениях сигнал/шум более 5, но даже при отношениях сигнал/шум близких к единице, смещение составляет не более 4 мск. При этом СКО оценки не превосходит 8 мск при отношениях сигнал/шум 2.

На рис.4.7. представлены интервальные оценки математического ожидания, а на рисунке 4.8 точечные оценки СКО для неравновесной обработки.

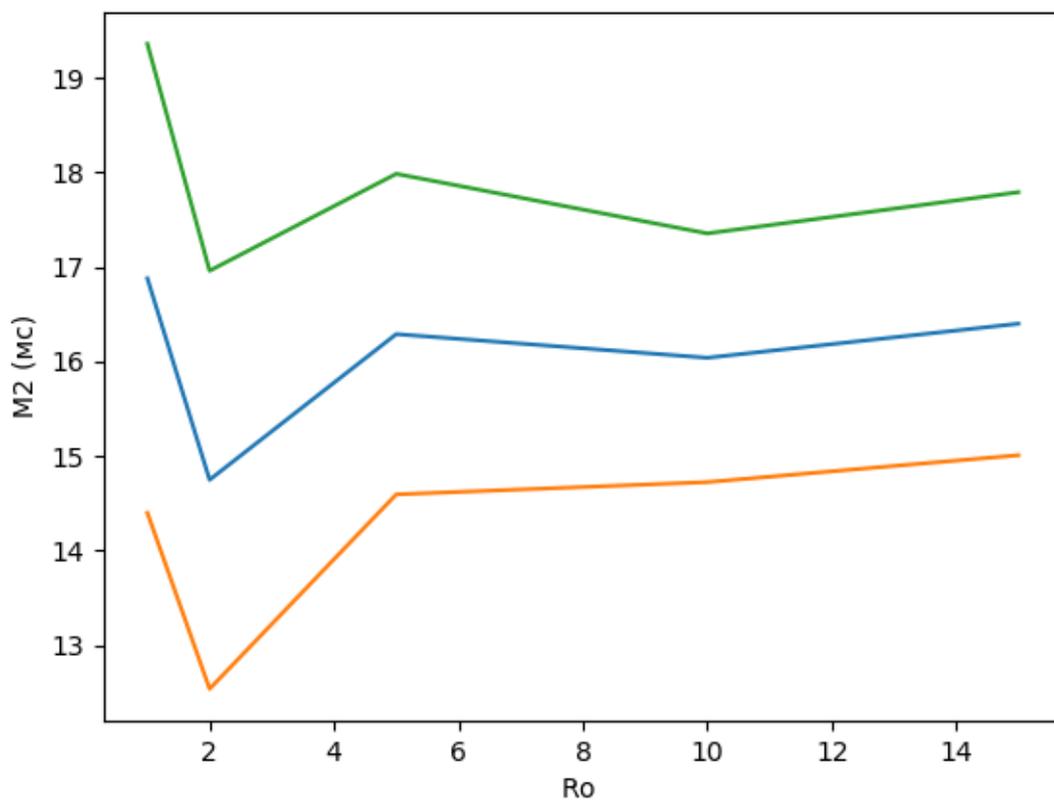


Рис.4.7. Интервальные оценки математического ожидания в зависимости от отношения сигнала к шуму

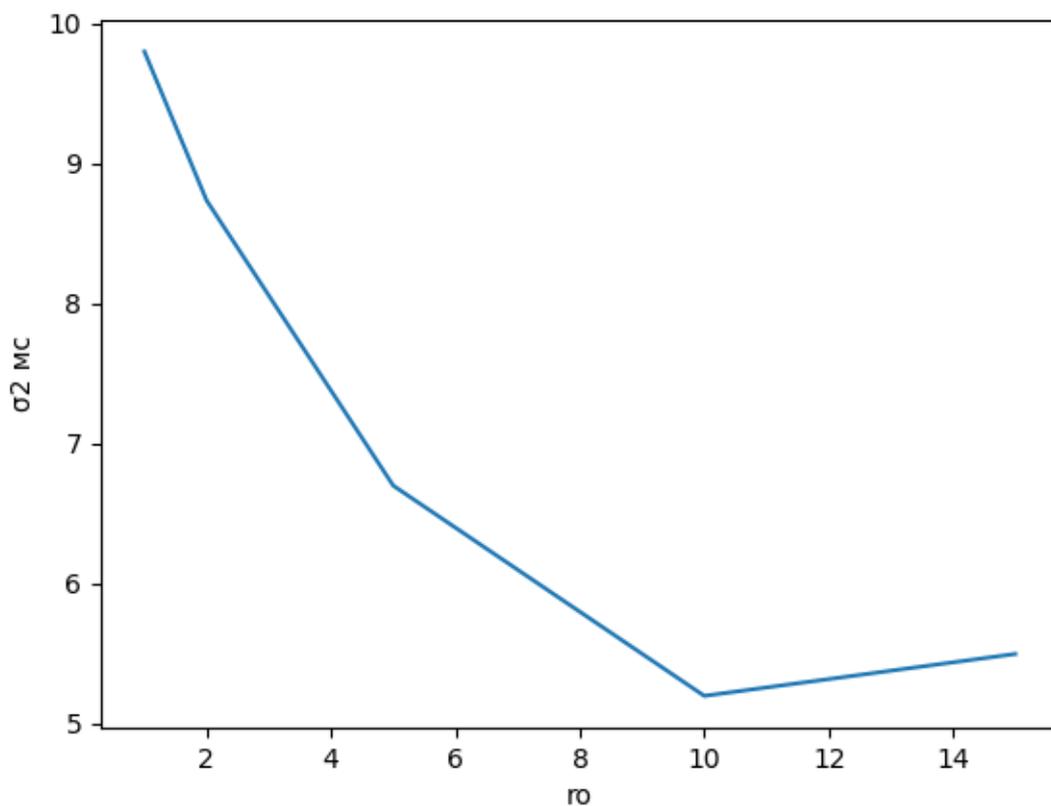


Рис.4.8. Точечные оценки среднеквадратического отклонения в зависимости от отношения сигнала к шуму

Из рисунков 4.7 и 4.8 следует, что полученные оценки при наличии искусственной частотной функции (неравновесная обработка) практически не отличаются от оценок при равновесной обработки. При этом точность получаемых оценок, как и ранее, достаточно велика. Данный результат вполне ожидаем, так как введение искусственной частотной функции влияет только на эффект сжатия сигнала, что должно существенно увеличить разрешение сигналов на сейсмических трассах. Данные вопросы будут рассмотрены в

следующем разделе работы.

3.1.3. Оценка разрешающей способности алгоритма на построенной модели

На практике, как уже отмечалось выше, довольно часто необходимо решать задачи прослеживания волн в условиях их интенсивной интерференции. Такая ситуация наиболее характерна при исследованиях тонкослоистых сред. При этом, как правило, приходится осуществлять прослеживание волн в условиях, когда форма сигналов неизвестна. В этой связи реализуемые алгоритмы прослеживания сейсмических волн должны обладать повышенной разрешающей способностью и позволять достаточно надежно осуществлять оценку их кинематических параметров в условиях неполной априорной информации о свойствах выделяемых сигналов. С этих позиций проведем анализ разрешающей способности разработанного алгоритма фазочастотной деконволюции.

Для проведения исследований будем использовать построенную ранее модель сейсмотрассы с двумя сдвинутыми друг относительно друга импульсами с колокольной огибающей. На рисунке 4.8 показана аддитивная сумма двух сигналов, а на рисунке 4.9, функция правдоподобия по результатам фазочастотной деконволюции.

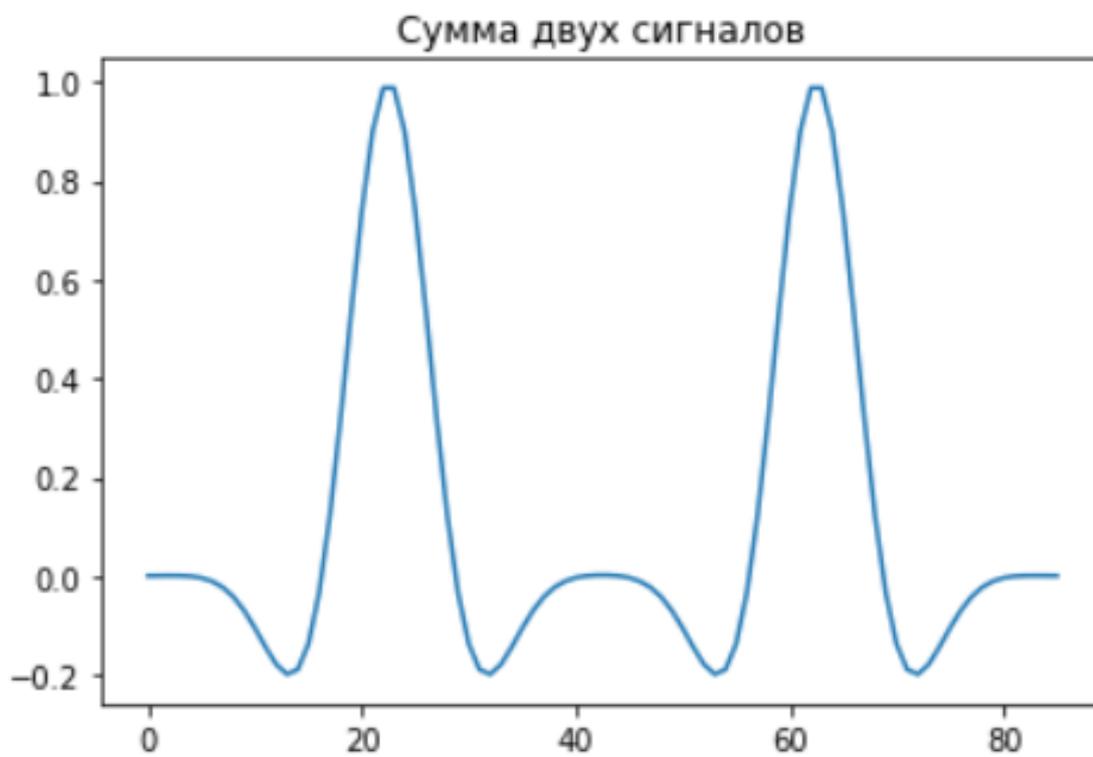


Рис.4.9 Аддитивная сумма двух сигналов

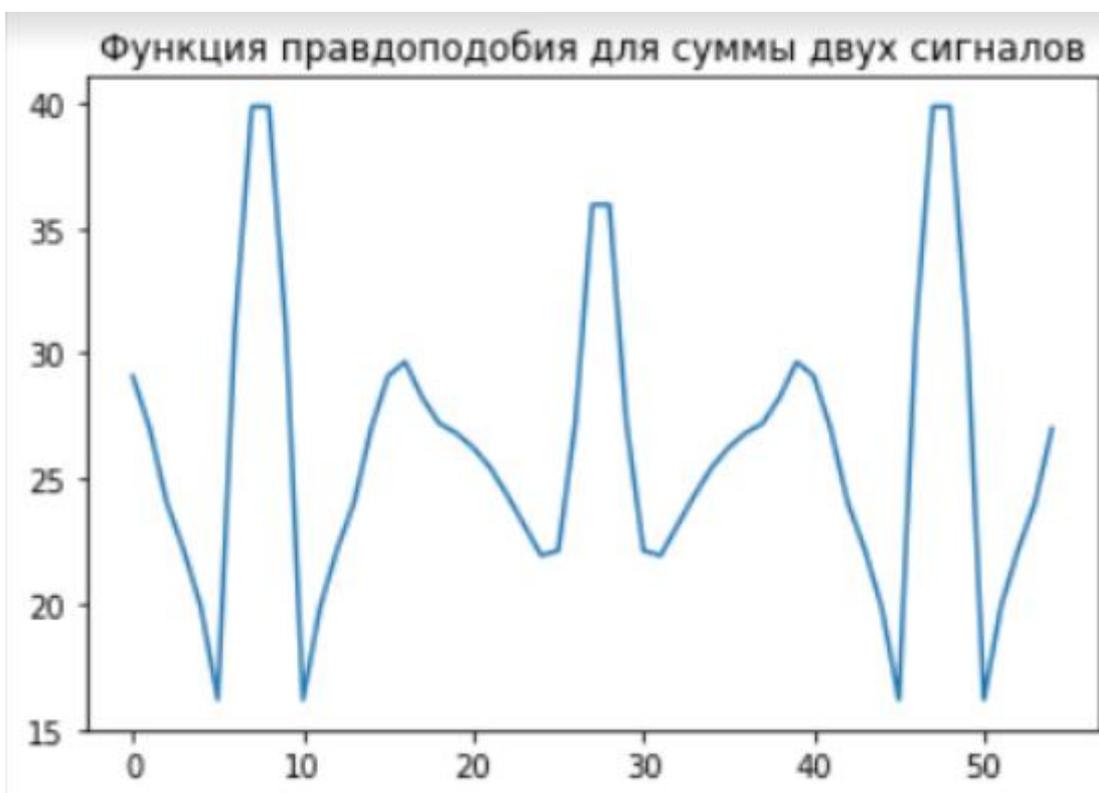


Рис.4.10. Функция правдоподобия для суммы двух сигналов

Из сравнения рисунков видно, что проведенная деконволюция позволила сжать сигналы и выделить дополнительные экстремумы, которые на исходной записи не видны.

В качестве примера на рисунках 4.11 и 4.12 приведены картины, иллюстрирующие интерференцию сигналов и их разрешение.

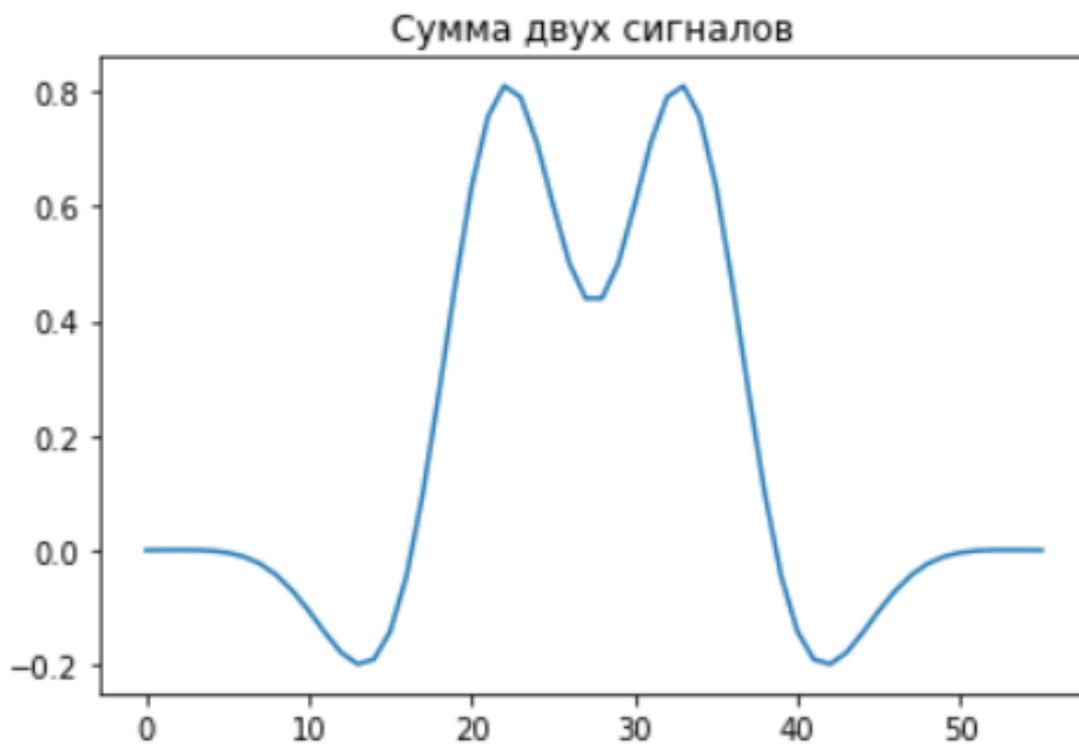


Рис.4.11. Интерференция двух сигналов

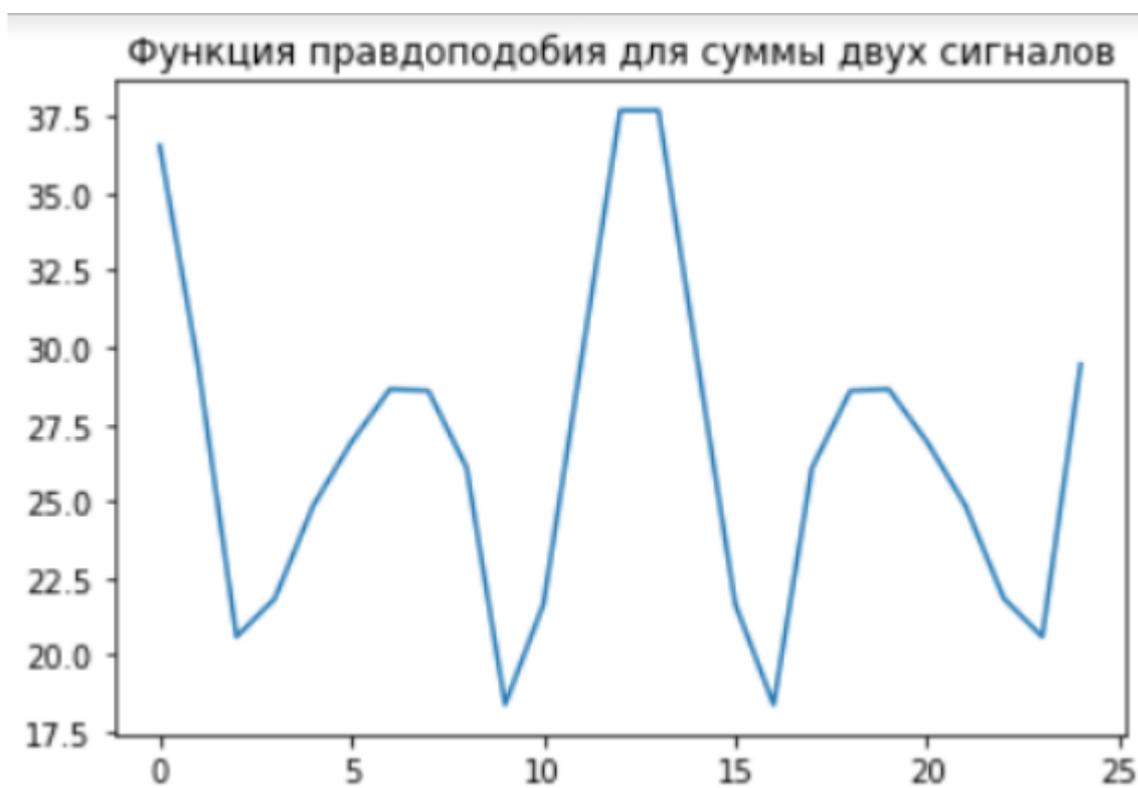


Рис. 4.12. Функция правдоподобия двух интерферирующих сигналов

Количественные результаты исследования разрешающей способности алгоритма ФЧД с треугольной функцией при различной длительности окна прослеживания T приведены на диаграмме рис. 4.13.

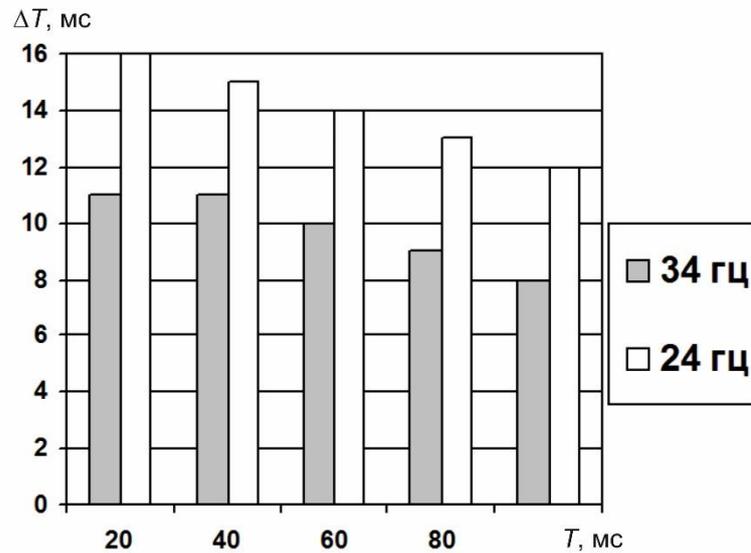


Рис. 4.13 Разрешающая способность (в мс) алгоритма с треугольной функцией с частотами 24 и 34 Гц.

Данная диаграмма показывает, что алгоритм ФЧД, сигналов с треугольной функцией позволяет разрешать сигналы, которые сдвинуты друг от друга, меньше чем на треть видимого периода. Полученное разрешение позволяет на практике получать надежные оценки кинематических параметров сейсмических сигналов при исследовании тонкослоистых сред.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Целевой аудиторией выпускной квалификационной работы будут являться нефтедобывающие и газодобывающие компании. Можно разделить их на сегменты:

- Компании, занимающиеся добычей газа
- Компании, занимающиеся добычей нефти

Сегменты рынка, привлекательные в будущем:

- Университеты

Анализ конкурентных технических решений

Был проведен анализ разработок конкурентов для введения корректив.

Была использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

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

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

Конкурентное техническое решение - метод отраженных волн.

Основан на выделении волн, однократно-отраженных от целевой геологической границы. Наиболее востребованный метод сейсморазведки, позволяющий изучать геологический разрез с детальностью до 0,5 % от глубины залегания границы.

Используется в сочетании с методикой многократных перекрытий, в которой для каждой точки границы регистрируется большое количество сейсмических трасс.

Избыточная информация суммируется по признаку общей средней или глубинной точки (ОСТ или ОГТ).

Метод общей глубинной точки значительно расширяет возможности МОВ и применяется в большинстве сейсморазведочных работ.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкуренто-преобладание	
		Б _ф	Б ₁	К _ф	К ₁
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда пользователя	0.1	4	3	0.4	0.3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.3	3	2	0.9	0.4
3. Надежность	0.1	5	2	0.5	0.2
4. Безопасность	0.2	3	5	0.6	1
5. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.1	4	3	0.4	0.3
6. Простота эксплуатации	0.2	2	3	0.4	0.6
Итого	1	18	16	3.2	3

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что представленный проект обходит конкурента

SWOT-анализ

Таблица 2. SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Низкая стоимость проекта</p> <p>С2. Экономичность технологии</p> <p>С3. Возможность применения алгоритма при наличии зашумленности</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Низкая квалификация исполнителя</p> <p>Сл2. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл3. Узкая направленность потенциального приложения</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры</p> <p>В2. Повышение спроса</p> <p>В3. Увеличение вычислительных мощностей ПЭВМ, а также их доступности</p>	<p>Увеличение вычислительных мощностей позволит провести большее количество экспериментов</p>	<p>При повышении спроса появляется возможность дополнения функционала</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на заявленную технологию</p> <p>У2. Появление конкурентов, потенциально применяющих более совершенный подход</p>	<p>Прогрессивные технологии, как правило, на начальном этапе весьма дорогостоящие, а значит будет время для построения стратегии дальнейших действий</p>	<p>Следует улучшить технологию</p>

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

Определение трудоемкости выполнения работ

Для выполнения работы должны быть задействованы исполнители. Ими могут быть:

руководитель проекта (Р);

исполнитель (И).

Таблица 3. Временные показатели проведения научного исследования.

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{mit} , чел. . дни	t_{max} , чел. л. дни	$t_{ож}$, чел. дни			
Выбор темы и сбор данных	3	7	5	Р	5	6
Составление ТЗ	2	4	3	Р	3	3
Изучение материала	25	35	30	И	30	44
Выбор инструментов для работы.	2	4	3	И	3	4
Применение изученной информации и методов исследования для вывода	16	24	20	И	20	29

математической модели.						
Построение математической модели метода	30	40	35	И	35	51
Анализ полученной модели.	10	18	14	И, Р	7	11
Проверка модели	20	24	22	И, Р	11	16

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Выбор темы и сбор данных	Р	6														
2	Составление ТЗ	Р	3														
3	Изучение материала	И	44														
4	Выбор инструментов для работы.	И	4														
5	Применение изученной информации и методов исследования	И	29														

	ия для вывода математиче ской модели.																	
6	Построени е математиче ской модели метода	И	51															
7	Анализ полученно й модели.	И, Р	11															
8	Применени е полученно й модели	И, Р	32															

4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;

- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.3.1. Расчет материальных затрат НТИ

Содержание этой статьи составляют затраты на материалы, используемые при разработке проекта, включая расходы на их приобретение и, при необходимости, доставку. Транспортные расходы составляют 15-25% от стоимости материалов.

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы, руб.
Лист бумаги	Штук	10	2	20
Ручка	Штук	1	50	50
Итого				500

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

В данную статью стоит включить стоимость рабочего компьютера, с помощью которого реализуются все расчеты и проверка моделей финансовой устойчивости. Используемая программа есть в открытом доступе, как на ПК, так и в онлайн-ресурсах. Определение стоимости используемой техники производится в виде амортизационных отчислений.

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Стоимость единицы оборудования, тыс.руб..	Общая стоимость, тыс.руб.
1.	Ноутбук HP pavilion	1	60	5
2.	Microsoft Office	1	19	19
3.	PyCharm	1	2	2
4.	Компьютерная мышь	1	1	1
5.	Коврик	1	1	1

Амортизация на ноутбук – $\frac{60000*5}{5*12} = 5000$ за время проекта

4.3.2. Расчет заработной платы для исполнителей

Этот раздел включает основную заработную плату научных и инженерно-технических работников, участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 8.

Таблица 8. *Расчёт основной заработной платы*

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Выбор темы и сбор данных	Р	5	2 285,7	11 428,5
2	Составление ТЗ	Р	3	2 285,7	6 857,1
3	Изучение материала	И	30	1 164	34 920
4	Выбор инструментов для работы.	И	3	1 164	3 492
5	Применение изученной информации и методов исследования для вывода математической модели.	И	20	1 164	23 280
6	Построение математической модели метода	И	35	1 164	40 740

7	Анализ полученной модели.	И, Р	7	1 164 2 285,7	8 148 15 999,9
8	Применение полученной модели	И, Р	11	1 164 2 285,7	12 804 25 142,7

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \text{ где}$$

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \text{ где}$$

- $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;
- T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;
- $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \text{ где}$$

- Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;
- M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:
при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;
при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;
- F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 9. *Баланс рабочего времени*

Показатели рабочего времени	Руководитель (Аналитик)	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени	24	24
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \text{ где}$$

- Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;
- $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{tc});
- k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{tc});
- k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 10.

Таблица 10. Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб.	k_p %	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель (Аналитик)	37 700	30	49 100	2 285,7	26	29 714,1
Исполнитель	19 200	30	24 960	1 164	106	123384

4.3.3. Дополнительная заработная плата

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за

отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \text{ где}$$

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

Дополнительные заработные платы в работе отсутствуют.

4.3.4. Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \text{ где}$$

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

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в Таблице 11.

Таблица 11. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	29 714,1	0
Студент-дипломник	123 384	0
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	
Итого	41 489,58	0

4.3.5. Расчет затрат на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом

действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

4.3.6. Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками), т.е.:

1) Работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними предприятиями и организациями. К работам и услугам производственного характера относятся:

- выполнение отдельных операций по изготовлению продукции, обработке сырья и материалов;
- проведение испытаний для определения качества сырья и материалов;
- контроль за соблюдением установленных регламентов технологических и производственных процессов;
- ремонт основных производственных средств;
- проверка и аттестация измерительных приборов и оборудования, другие работы (услуги) в области метрологии и прочее.
- транспортные услуги сторонних организаций по перевозкам грузов внутри организации (перемещение сырья, материалов, инструментов, деталей, заготовок, других видов грузов с базисного (центрального) склада в цехи (отделения) и доставка готовой продукции на склады хранения, до станции (порта, пристани) отправления).

2) Работы, выполняемые другими учреждениями, предприятиями и организациями (в т.ч. находящимися на самостоятельном балансе опытными (экспериментальными) предприятиями по контрагентским (соисполнительским) договорам на создание научно-технической продукции,

головным (генеральным) исполнителем которых является данная научная организация).

В данную статью расходов при выполнении проекта отнесём использование Internet. Оплата подключения к сети Internet производится один раз в месяц в размере 350 рублей. Проект длится 4 месяца, значит суммарно будет потрачено $4 \cdot 350 = 1400$ рублей.

4.3.7. Накладные расходы

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

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \text{ где}$$

- $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.
- $Z_{\text{накл}} = (500 + 28\,000 + 153\,098,1 + 41\,489,58 + 1400) \cdot 16\% = 46\,078,78$ руб.

4.3.8. Прочие прямые затраты

В данную статью расходов проекта необходимо включить затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием. Стоимость 1 кВт электроэнергии составляет 5,8 руб., мощность по времени одного используемого ноутбука 120 Вт/ч, коэффициент использования мощности – 0,8, суммарное количество часов работы ноутбука $106 \cdot 8 = 848$. Итого будет потреблено $120 \cdot 0,8 \cdot 848 = 81\,408$ Вт, стоимость потреблённой электроэнергии составит $81\,408 \cdot 5,8 = 472,17$ руб.

4.3.9. Формирование бюджета затрат НИИ

Таблица 12. Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	500	Пункт 3.4.1

2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	28 000	Пункт 3.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	153 098,1	Пункт 3.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	0	Пункт 3.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	41 489,58	Пункт 3.4.5
6. Затраты на научные и производственные командировки	0	Пункт 3.4.6
7. Контрагентские расходы	1400	Пункт 3.4.7
8. Накладные расходы	36 406,2	Пункт 3.4.8
9. Бюджет затрат НИИ	297 300,08	Сумма ст. 1- 8

Затраты на исследование составили 297 300,08 рублей.

4.4. Оценка эффективности проекта

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

4.4.1. Интегральный показатель финансовой эффективности

научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 16). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (1)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

Примерные цены проектов аналогов – Исп.2=430 т. руб.;

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (2)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы.

Таблица 1. Сравнительная характеристика

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	
		Исп.1	Исп.2

Скорость работы	0,1	2	4
Производительность	0,15	4	3
Удобство использования	0,15	5	1
Производительность оборудования	0,2	3	5
Стоимость обслуживания	0,25	4	1
Масштабируемость	0,15	4	2
Итого	1	3,75	2,55

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}} \quad I_{исп.2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр}} \quad (3)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (45)$$

Таблица 2. Сравнительная эффективность

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,83	0,96
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,75	2,55
3	Интегральный показатель эффективности	4,52	2,66
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения		1,70

Таким образом, делаем вывод о том, что наш проект с позиции финансовой и ресурсной эффективности является более предпочтительней, чем у конкурентов.

5. Социальная ответственность

В данной ВКР объектом исследования являются разработанные на ЭВМ алгоритмы, которые применяются математиком-программистом для исследования алгоритма деконволюции на основе анализа фазовых спектров сейсмических волн.

В качестве места выполнения работы выступает комната в общежитии №17 ТПУ. Используемым при этом оборудованием является персональный компьютер.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

В соответствии с трудовым законодательством РФ рабочее время - время, в течение которого работник в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и условиями трудового договора должен исполнять трудовые обязанности, а также иные периоды времени, которые в соответствии с трудовым кодексом РФ [9], другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации относятся к рабочему времени.

Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю и при пятидневном графике работы составляет 8 часов в сутки.

Продолжительность непрерывной работы с ПЭВМ не должна превышать 2 часов. Для обеспечения оптимальной работоспособности на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы через 2 часа от начала рабочей смены и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый при 8-часовой рабочей смене.

5.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 [5] конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы. Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля.

Конструкцией производственного оборудования и рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием:

1. высоты рабочей поверхности; 2.
2. сиденья;
3. пространства для ног.

либо, при нерегулируемой высоте рабочей поверхности, регулированием:

1. высоты сиденья;
2. подставки для ног.

Элементы рабочего места: клавиатура, мышь, монитор должны быть установлены таким образом, чтобы экран видеомонитора находился от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм.

5.3. Производственная безопасность.

В ходе разработки алгоритмов повышения качества изображений на основе нейросетей и методов деконволюции могут возникать различные вредные и опасные факторы в связи с работой на ПЭВМ.

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 [1] «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» был выделен перечень опасных и

вредных факторов характерных для данного вида работ, представленный в таблице 1.

Таблица 1.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ	Нормативные документы
	Исследование	
Статические физические перегрузки	+	РД 153-34.0-03.298-2001. Типовая инструкция по охране труда для пользователей ПЭВМ в электроэнергетике [2]
Нервно-психические перегрузки	+	ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда Опасные и вредные производственные факторы. Классификация [1]
Перегрузка зрительного аппарата	+	ТОИ Р-45-048-97. Типовая инструкция по охране труда при работе на ПЭВМ [3]
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение [6]
Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	ГОСТ Р 54148-2010. Воздействие на человека электромагнитных полей бытовых и аналоговых электрических приборов [10]
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может	+	ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность [7]

произойти через тело человека		
----------------------------------	--	--

5.3.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

Статические физические перегрузки

Работа за ПЭВМ вынуждает человека принимать неподвижную сидячую позу в течении длительного времени, что со временем вызывает статическое напряжение мышц шейно-плечевой области и спины. Нерациональный график работы и перерывов может привести к серьёзным проблемам со здоровьем.

Неоптимальная организация рабочего места также в значительной степени усиливает напряжение мышц позвоночника, ног, рук, шеи, глаз. Так, например, чрезмерно низкая высота кресла относительно рабочей поверхности вынуждает держать руки навесу, что влечёт за собой статические перегрузки мышц рук и плеч, в то время как низкая высота рабочей поверхности относительно кресла ведёт к тому, что работник наклоняется в сторону ПЭВМ, нагружая при этом мышцы шеи и спины.

Образующиеся вследствие чрезмерной статической перегрузки вызывают понижение работоспособности, а также физические недомогания: сонливость, мышечные боли, онемение конечностей.

Согласно РД 153-34.0-03.298-2001 [2] не рекомендуется работать на ПК более 2 часов подряд без перерывов.

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 [5] при компоновке рабочей зоны допускается проектировать и изготавливать оборудование с нерегулируемыми параметрами, в случае, когда невозможно осуществить регулирование высоты и угла наклона подставки для ног, высоты и размеров рабочей поверхности. В таком случае высота рабочей поверхности должна быть не менее 725 мм, а высота кресла регулируется исходя их роста работника.

5.3.2. Нервно-психические перегрузки

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 [1] нервно-психические перегрузки подразделяют на:

- умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой;
- перенапряжение анализаторов, в том числе вызванное информационной нагрузкой;
- монотонность труда, вызывающая монотонию;
- эмоциональные перегрузки. Исходя из данной классификации можно выделить следующие источники:

- Источники, вызывающие статические физические перегрузки, приводящие к общему ухудшению состояния и возникновению утомленности;
- Длительный зрительный обзор монитора, нагружающий глаза, приводящий к появлению головных болей и сухости глаз;
- Длительная непрерывная мозговая деятельность при большом объёме перерабатываемой и усваиваемой информации приводит к умственному перенапряжению, что влечёт за собой головные боли, понижение внимательности, продуктивности и работоспособности.

Согласно РД 153-34.0-03.298-2001 [2] для обеспечения оптимальной работоспособности на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы через 2 часа от начала рабочей смены и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый при 8-часовой рабочей смене. При 12-часовой смене перерывы в первые 8 часов такие же, как и при 8-часовой смене; в течение последних 4 часов – каждый час по 15 минут.

5.3.3. Перегрузка зрительного аппарата

Работа с ПЭВМ подразумевает повышенные зрительные нагрузки (наблюдение за монитором и клавиатурой) и динамику глазных мышц, т.е. их малую подвижность при высоком статическом зрительном напряжении в течение длительного времени, что может стать причиной различных глазных заболеваний, особенно таких, как спазм аккомодации (потеря возможности мышц сокращаться), снижение остроты зрения, уменьшение запаса относительной аккомодации, а затем и близорукость.

Пагубное влияние усугубляется в случае, если экран монитора находится на неоптимальном расстоянии. Рекомендуемыми значениями дистанции от глаз пользователя ПК до монитора является 600-700 мм, но не ближе 500 мм.

Аналогично предыдущим факторам, не рекомендуется работать на ПЭВМ более 2 часов подряд без перерывов

5.3.4. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Источники света в помещении подразделяются на:

- Естественные – освещение помещений светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях, а также через световоды.
- Искусственное – освещение от неестественных источников, таких как: огонь, газовые установки, электрические лампы и светильники, прожектора и прочее

При длительной работе в помещениях с ненормированными показателями световой среды (недостаточная освещённость, неравномерная и прочее) зрительное восприятие снижается, развивается близорукость, болезнь глаз, появляются головные боли.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более

300 лк. Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°.

5.3.5. Повышенный уровень электромагнитных излучений

Негативное влияние ЭМП может привести к торможению рефлексов, понижению кровяного давления и частоты сердечных сокращений, изменению состава крови. Такие органы как мозг, глаза, почки и ткани человека, которые обладают слабо выраженной терморегуляцией, более чувствительны к облучению. Перегревание тканей и органов ведет к их заболеваниям.

В соответствии с ГОСТ Р 54148-2010[10]:

1. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 500 мм вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более:
 - в диапазоне частот 5-2000 Гц – 25 В/м;
 - в диапазоне частот 2-400 кГц - 2,5 В/м.
2. Плотность магнитного потока должна быть не более:
 - в диапазоне частот 5-2000 Гц - 250нТл;
 - в диапазоне частот 2-400 кГц - 25нТл.

5.3.6. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

При работе с любым электроприбором, в случае несоблюдения техники безопасности, при должной невнимательности, а также при работе с неисправным прибором существует риск поражения электрическим током вследствие замыкания цепи через тело человека.

Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и заболеваний, включая профессиональные и производственнообусловленные заболевания.

Степень опасного воздействия на человека электрического тока и электрической дуги зависит от величины напряжения прикосновения, электрического сопротивления тела человека, силы тока, протекающей через него, а также величины падающей энергии электрической дуги;

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 2.

Таблица 2. Допустимые значения напряжения прикосновения и тока, протекающих через тело человека при нормальном режиме электроустановки

Род тока	U, В	I, мА
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Для обеспечения защиты от прямого прикосновения необходимо применять следующие технические способы и средства:

- основная изоляция;
- безопасное расположение токоведущих частей, размещение их вне зоны досягаемости частями тела, конечностями;
- защитное отключение;
- электротехнические средства и другие средства индивидуальной защиты.

5.3.7. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

Различные неблагоприятные факторы присутствуют почти во всех аспектах нашей жизни. Полностью устранить их влияние на человека весьма нетривиальная задача, тем не менее, в случае, когда это возможно, следует предпринимать меры по минимизации данного воздействия.

Исходя из выявленного перечня вредных и опасных факторов предлагаются следующие мероприятия по защите работника:

1. Для понижения воздействия статических и нервно-психических нагрузок, а также нагрузок на зрительный аппарат, необходимо делать перерывы не реже чем раз в 2 часа с применением различных физических упражнений, а также упражнений для глаз.

2. Также для уменьшения нервно-психических перегрузок рекомендуется периодически менять вид работы, например, чередовать ввод данных и редактирование, считывание информации и ее осмысление.

3. Для понижения нагрузки на зрительный аппарат, а для уменьшения влияния ЭМП на организм, рекомендуется поддерживать расстояние между работником и ПЭВМ не менее 500 мм.

4. Ввиду изменения степени естественной освещенности в течение дня, в качестве местного освещения в темное время суток рекомендуется дополнительно использовать светильники для поддержания постоянного уровня освещенности.

5. Для понижения вероятности замыкания цепи через тело человека необходимо сохранять бдительность и предпринимать попытки по устранению любых замеченных неисправностях или повреждениях токоведущих частей и/или их изоляции самостоятельно или обратившись к специалисту.

5.4. Экологическая безопасность.

5.4.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.

В наше время всё больше привлекает внимание вопрос загрязнения окружающей среды и принимает значение всемирной проблемы. Наиболее продуктивным и актуальным способом охраны окружающей среды является сокращение вредных выбросов путём применения технологии вторичной переработки, а также перехода к малоотходным способам производства.

Несмотря на это, такой объект исследования, как алгоритмы повышения качества изображений на основе нейросетей и методов деконволюции не вредит окружающей среде ни на одном из этапов своего жизненного цикла.

Тем не менее, сам процесс исследования и разработки подразумевает использование различных инструментов и средств, несущих потенциальную опасность для окружающей среды.

5.4.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.

Наиболее опасными из эксплуатируемых средств в процессе исследования выступают пластиковые ручки, люминисцентные лампочки и сама ПЭВМ, содержащие в своём составе различные токсичные и опасные вещества, а также материалы имеющие огромные сроки разложения. Тем не менее основное вредное воздействие от данных инструментов достигается не в самом процессе исследования, а лишь при условии применения несоответствующих методов утилизации отходов.

Таким образом, наиболее вероятный ущерб, возникающий в результате процесса исследования будет нанесён литосфере, исходя из чего возникает вопрос об её защите и минимизации опасных факторов.

5.4.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.

Исходя из приведённых доводов, наиболее эффективными мероприятиями по защите окружающей среды от потенциального ущерба выступают разделение отходов и направление на утилизацию.

5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

5.5.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.

Объект исследования, как алгоритмы повышения качества изображений на основе нейросетей и методов деконволюции не способен вызвать ЧС, так как является лишь математической абстракцией.

Тем не менее, в ходе исследования применяются различные электроприборы (светильник, ПЭВМ), использование которых повышает шанс возникновения ЧС.

5.5.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

Наиболее вероятной и характерной чрезвычайной ситуацией в случае работы с ПЭВМ и иным электрооборудованием является пожар, который может возникнуть по причине:

- возникновения короткого замыкания в электропроводке;
- возгорания ПК и другого электрооборудования ввиду неисправности, чрезмерной нагрузки, а также перепадов напряжения в сети;

5.5.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

Каждый работник при обнаружении пожара или признаков горения (задымление, запах гари, повышение температуры и т.п.) обязан:

- немедленно сообщить об этом по телефону в пожарную охрану (при этом необходимо назвать адрес объекта, место возникновения пожара, а также сообщить свою фамилию);
- в случае если пожарная сигнализация не сработала, то необходимо самостоятельно произвести активацию.

По возможности:

- принять меры по эвакуации людей;
- отключить подачу электроэнергии, а также перекрыть доступ кислорода в помещение с очагом воспламенения; х
- используя средства первичного пожаротушения предпринять попытку к локализации и устранению огня.

5.6. Выводы и рекомендации

Анализ условий труда, а также организационных и правовых вопросов показал их соответствие предъявляемым нормам трудового законодательства.

В ходе последующего исследования неблагоприятного воздействия ЭВМ на организм человека был выделен ряд вредных и опасных факторов: статические физические перегрузки, нервно-психические перегрузки, перегрузка зрительного аппарата, недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенный уровень электромагнитных излучений, повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека. Было выявлено, что, в случае соблюдения техники безопасности, а также предложенных рекомендаций, воздействие неблагоприятных факторов сводится к минимуму и не оказывает существенного вреда здоровью.

Анализ влияния на окружающую среду показал, что, не смотря на отсутствие непосредственного воздействия объекта исследования, процесс исследования подразумевает использование материалов и веществ, которые могут нанести вред окружающей среде, при неверно выбранной стратегии утилизации. Были выдвинуты рекомендации по устранению поставленных проблем.

Итоговое изучение вероятных ЧС, которые могут возникнуть вследствие выполнения данной работы показало присутствие риска возникновения пожара, по причине использования электроприборов. В результате была предложен алгоритм действий при возникновении подобной ЧС.

Заключение

В ходе выполнения задания была разработана программа для сжатия сейсмических сигналов в основе которой лежала ФЧД. Использование данного алгоритма в задачах обработки и интерпретации сейсмических данных, необходимо для увеличения разрешения записи при исследовании тонкослоистых сред, где существующие методы деконволюции не дают необходимую точность.

Отдельное внимание при выполнении работы уделялось построению математической модели, разработки алгоритма ФЧД и проведения вычислений, а также написанию программы на языке Python. По результатам работы можно сделать следующие выводы:

- функция правдоподобия, сформированная после применения разработанного алгоритма, повторяет по форме сам сигнал. Однако появляются дополнительные экстремумы, которые не видны на исходном сигнале. А сам сигнал становится более амплитудно-выраженным и несколько сжатым. При этом временное положение четко соответствует исходному сигналу;

- математическое ожидание временного положения сигнала, определяемое по функции правдоподобия, дает несмещенную оценку при отношениях сигнал/шум более 5, но даже при отношениях сигнал/шум близких к единице, смещение составляет не более 4 мск. При этом СКО оценки не превосходит 8 мск при отношениях;

- алгоритм ФЧД сигналов с треугольной функцией позволяют разрешать сигналы, сдвинутые друг от друга, не более чем на треть видимого периода.

Список использованных источников

1. Mohamed Mhmod, Feng Xuan, Xu Cong. Parameters effects on spiking deconvolution of land seismic data // *Global Geology*. – 2015. – V. 18 (4). – P. 226–231.
2. Романов В.В. Возможности повышения разрешенности сейсмограмм метода преломленных волн (МПВ) // *Технологии сейсморазведки*. – 2013. – № 4. – С. 67–73.
3. Станкевич Л.С. Обработка сейсмических разрезов методом динамического сжатия // *Геофизика, геофизическое приборостроение*. – 2015. – № 1 (21). – С. 78–85.
4. Митрофанов Г.М. Гомоморфная фильтрация и слепая деконволюция // *Технологии сейсморазведки*. – 2015. – № 1. – С. 46–56.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.

9. 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.
10. Veeken P.C.H., Da Silva M. Seismic inversion methods and some of their constraints // First break. – 2004. – V. 22. – P. 47–70.
11. 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.
12. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсмическая разведка. Учебник для вузов. М.: Недра, 1980, 551с.
13. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсморазведка. Учебник для вузов. –Тверь: Изд-во АИС, 2006. -744 с.
14. Берзон И.С., Епинатьева А.Г., Парийская Г.Н., Стародубровская О.П. Динамические характеристики сейсмических волн в реальных средах.-М.: Изд-во Акад. Наук СССР,1962.-511с.
15. Гринь Н.Е. Исследования структуры и свойств среды по динамике сейсмических волн. – Киев: Наукова думка, 1979.-216 с.
16. Сейсморазведка. Справочник геофизика/ Под ред. И.И. Гурвича, В.П. Номоконова.- М.: Недра, 1981.-464 с.
17. Гольдин С.В. Линейные преобразования сейсмических сигналов. – М.: Недра, 1974.-352 с.
18. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М.: Сов. Радио, 1966.-667с.
19. Сильвиа М.Т., Робинсон, Э.А., Обратная фильтрация геофизических временных рядов при разведке на нефть и газ, пер. с англ. М., Недра, 1983, –382 с.
20. Сейсмическая деконволюция как способ повышения разрешающей способности [Электронный ресурс] / European Association of Geoscientists & Engineers, курс лекций; ред. Денисов М.С. – Электрон. дан. –EAGE, 2016. URL:

<http://eage.ru/ru/courses/detail.php?id=148>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. Дата обращения: 04.10.2015 г.

21. Сиберт У. М. Цепи, сигналы, системы. Ч.2. Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 360с.

22. Иванченков В.П., Кочегуров А.И., Купина Н.А., Орлов О.В. Методы фазочастотного прослеживания отраженных волн и их применение в задачах обработки сейсмической информации. Технология сейсморазведки. - 2013 - №. 3. - С. 5-10.

23. Иванченков В.П., Кочегуров А.И. и др. Методы фазочастотного анализа волновых полей и их применение в задачах обработки данных сейсморазведки // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 7. – С. 65–70.

24. Иванченков В.П., Кочегуров А.И., Орлов О.В. Фазочастотные методы анализа сейсмических сигналов и их применение в задачах прогноза геологического разреза // Сборник трудов Украинского государственного геологоразведочного института. – 2013. – № 4. С. 79–92.

25. Карпенко И.В., Тяпкин Ю.К. Способ повышения разрешенности сейсмической записи при линейной зависимости фазового спектра элементарного сигнала от частоты. – Докл. АН УССР, 1981, № 6, с. 20-23.

Приложение 1

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

beta = 60
step = 0.002
f0 = 40
w0 = 2 * math.pi * f0
a0 = 1
t = -0.06
n = abs(t) * 2 / step
sigma1 = [1, 1/2, 1/5, 1/10, 1/15]
ro = [1/sigma1[0], 1/sigma1[1], 1/sigma1[2], 1/sigma1[3], 1/sigma1[4]]
wc = 2 * math.pi * 40
w_upper = 1.3 * wc
w_lower = wc / 4

def process(N, t0, step):
    intN = int(N)
    y = np.random.random(intN)
    t = np.zeros(intN)
    for i in range(intN):
        t[i] = t[i] + t0
        t0 = t0 + step
    x = np.zeros(intN)
    s = np.zeros(intN)
    for j in range(intN):
        x[j] = np.exp(-np.power(beta * t[j], 2)) * np.cos(w0 * t[j] + w0)
        s[j] = x[j]
    return s

w = np.linspace(1, 500, 41)
W = np.zeros(len(w))
for i in range(len(w)):
    if w_lower < w[i] < wc:
        W[i] = (13.5 * (w[i] - w_lower)) / (4 * wc ** 2)
    if wc < w[i] <= w_upper:
        W[i] = -(32 * (w[i] - w_upper)) / (3 * wc ** 2)

W = W * 200
plt.plot(W)
plt.show()

s = process(n, t/2, step)

plt.plot(s)

plt.title("Полезный сигнал")
plt.show()

t0 = -0.03
fn = 20
delta_w = 2 * math.pi
N = 31
noise = np.zeros(shape=(100, int(n)))
aver = np.zeros(5)
disp = np.zeros(5)
aver1 = np.zeros(5)
```

```

disp1 = np.zeros(5)
aver[0], aver[1] = 15, 15
average = 15
averagel = 15
L1 = np.array([])
L2 = np.array([])
estimate = np.zeros(5)
estimate1 = np.zeros(5)
AvgSqErr = np.zeros(5)
AvgSqErr1 = np.zeros(5)
deviation = np.zeros(5)
deviation1 = np.zeros(5)
dover_intervall1 = np.zeros(5)
dover_intervall2 = np.zeros(5)
dover_interval21 = np.zeros(5)
dover_interval22 = np.zeros(5)
dover_interval_disp11 = np.zeros(5)
dover_interval_disp12 = np.zeros(5)
dover_interval_disp21 = np.zeros(5)
dover_interval_disp22 = np.zeros(5)
inters = [1, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6]
for qq in range(5):
    sum = 0
    sum_expval = 0
    sum1 = 0
    sum_expvall = 0
    s1 = process(n, t / inters[qq], step)
    S = s + s1
    plt.plot(s)
    plt.plot(s1)
    plt.title('Два сигнала')
    plt.savefig("TwoSignals" + str(qq) + ".png")
    plt.show()
    plt.plot(S)
    plt.title('Сумма двух сигналов')
    plt.savefig("SumOf2Signals" + str(qq) + ".png")
    plt.show()
    for q in range(100):
        L = np.array([])
        L_freq = np.array([])
        for j in range(len(S)-N):
            A = np.zeros(41)
            B = np.zeros(41)
            for k in range(41):
                for i in range(N):
                    A[k] = A[k] + (S[i+j] * np.cos((w0 + k*delta_w) * (t0 +
i*step)))
                    B[k] = B[k] + (S[i+j] * np.sin((w0 + k*delta_w) * (t0 +
i*step)))
            phi = np.arctan(B / A)
            L = np.append(L, np.sum(np.cos(phi)))
            L_freq = np.append(L, np.sum(np.cos(phi * W)))
        mx = np.argmax(L)
        sum += mx
        sum_expval += (mx - average) ** 2
        mx1 = np.argmax(L_freq)
        sum1 += mx1
        sum_expvall += (mx1 - averagel) ** 2
        L1 = L
        L2 = L_freq
    aver[qq] = sum / 100
    estimate[qq] = np.abs(aver[qq] - 15)
    disp[qq] = sum_expval / (int(n) - 1)
    aver1[qq] = sum1 / 100
    estimate1[qq] = np.abs(aver1[qq] - 15)
    disp1[qq] = sum_expvall / (int(n) - 1)
    AvgSqErr[qq] = np.sqrt(disp[qq])

```

```

AvgSqErr1[qq] = np.sqrt(displ[qq])
deviation[qq] = np.sqrt(disp[qq])
deviation1[qq] = np.sqrt(displ[qq])
dover_intervall1[qq] = aver[qq] - 1.96 * deviation[qq] / np.sqrt(n)
dover_intervall2[qq] = aver[qq] + 1.96 * deviation[qq] / np.sqrt(n)
dover_interval21[qq] = aver1[qq] - 1.96 * deviation1[qq] / np.sqrt(n)
dover_interval22[qq] = aver1[qq] + 1.96 * deviation1[qq] / np.sqrt(n)
dover_interval_disp11[qq] = disp[qq] * (n - 1) / 6
dover_interval_disp12[qq] = disp[qq] * (n - 1) / 0.01
dover_interval_disp21[qq] = displ[qq] * (n - 1) / 6
dover_interval_disp22[qq] = displ[qq] * (n - 1) / 0.01
print("Функция правдоподобия\nsigma = ", sigma1[qq], "\n средний максимум
равен ", aver[qq], "\n Оценка дисперсии равна ", disp[qq], "\n Оценка смещения
", estimate)
print("Функция правдоподобия с треугольной функцией\nsigma = ", sigma1[qq],
"\n средний максимум равен ", aver1[qq], "\n Оценка дисперсии равна ",
displ[qq], "\n Оценка смещения ", estimate1)
average = aver[qq]
average1 = aver1[qq]
plt.show()
plt.plot(L1)
plt.title('Функция правдоподобия')
plt.savefig("LikelyhoodFunc" + str(qq) + ".png")
plt.show()
plt.plot(L2)
plt.title('Функция правдоподобия с треугольной функцией')
plt.savefig("LikelyhoodFuncWithTriangle" + str(qq) + ".png")
plt.show()

```

Приложение 2

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from math import *
import math
from scipy.fft import fft, ifft
import copy

#Исходные данные
beta, phi0 = 60, 0
dt = 0.002
w0 = pi * 40
#Временной интервал
n = 31
#Частоты
w = np.arange(20, 60)
wc = 2 * math.pi * 40
w_upper = 1.3 * wc
w_lower = wc / 4
w = np.linspace(1, 500, 41)
W = np.zeros(len(w))
for i in range(len(w)):
    if w_lower < w[i] < wc:
        W[i] = (13.5 * (w[i] - w_lower)) / (4 * wc ** 2)
    if wc < w[i] <= w_upper:
        W[i] = -(32 * (w[i] - w_upper)) / (3 * wc ** 2)

```

```

W = W * 200

dw = 2 * pi
t0 = -0.03

size1 = [-0.05, -0.04, -0.035, -0.03, -0.025, -0.015]
size2 = [0.07, 0.08, 0.085, 0.09, 0.095, 0.105]
for qq in range(6):
    t = np.arange(-0.085, 0.035, dt)
    x = np.exp(-np.power(beta * t, 2)) * np.cos(w0 * t + phi0)
    t1 = np.arange(size1[qq], size2[qq], dt)
    x1 = np.exp(-np.power(beta * t1, 2)) * np.cos(w0 * t1 + phi0)
    plt.plot(x)
    plt.title('1')
    plt.show()

    plt.plot(x1)
    plt.title('2')
    plt.show()
    plt.plot(x)
    plt.plot(x1)
    plt.title('Полезный сигнал и сигнал со сдвигом'+str(qq))
    plt.show()
    X = x + x1
    plt.plot(X)
    plt.title('Сумма двух сигналов')
    plt.show()
    L = np.array([])
    L_freq = np.array([])
    for j in range(len(x)-n):
        A = []
        B = []
        for k in range(41):
            A1 = []
            B1 = []
            for i in range(n):
                A1.append(X[i+j] * np.cos((w0 + k*dw) * (t0 + i*dt)))
                B1.append(X[i+j] * np.sin((w0 + k*dw) * (t0 + i*dt)))
            A.append(np.sum(A1))
            B.append(np.sum(B1))
        A = np.array(A)
        B = np.array(B)
        phi = np.arctan(B / A)
        L = np.append(L, np.sum(np.cos(phi)))
        L_freq = np.append(L_freq, np.sum(np.cos(phi * W)))
    plt.plot(L)
    plt.title('Функция правдоподобия для суммы двух сигналов')
    plt.show()
    plt.plot(L_freq)
    plt.title('Функция правдоподобия с треугольной функцией')
    plt.show()

```

```

t = np.arange(-0.085+0.04, 0.035+0.01, dt)
x1 = np.exp(-np.power(beta * t, 2)) * np.cos(w0 * t + phi0)
def shift(mass, t):
    return(np.append(np.zeros(t), mass))

def add(mass1, mass2):
    if len(mass1)>len(mass2):
        return(np.append(mass2,np.zeros(len(mass1)-len(mass2)))+mass1)
    else:
        return(np.append(mass1, np.zeros(len(mass2)-len(mass1)))+mass2)

x2 = shift(x1,40)
x3 = add(x1,x2)
plt.plot(x1)
plt.show()
plt.plot(x2)
plt.show()
plt.plot(x3)
plt.title('Сумма двух сигналов')
plt.show()

L = np.array([])
L_freq = np.array([])
for j in range(len(x3)-n):
    A = []
    B = []
    for k in range(41):
        A1 = []
        B1 = []
        for i in range(n):
            A1.append(x3[i+j] * np.cos((w0 + k*dw) * (t0 + i*dt)))
            B1.append(x3[i+j] * np.sin((w0 + k*dw) * (t0 + i*dt)))
        A.append(np.sum(A1))
        B.append(np.sum(B1))
    A = np.array(A)
    B = np.array(B)
    phi = np.arctan(B / A)
    L = np.append(L, np.sum(np.cos(phi)))
    L_freq = np.append(L_freq, np.sum(np.cos(phi * W)))
plt.plot(L)
plt.title('Функция правдоподобия для суммы двух сигналов')
plt.show()
plt.plot(L_freq)
plt.title('Функция правдоподобия для суммы двух сигналов с треугольной функцией')
)
plt.show()

```